



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

CARLA CASTELLO BRANCO BEIRÃO

**O POTENCIAL DO LASER SCANNER TERRESTRE PARA O
INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO**

**Florianópolis/ SC
2011**

CARLA CASTELLO BRANCO BEIRÃO

**O POTENCIAL DO LASER SCANNER TERRESTRE PARA O
INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Jürgen Wilhelm Philips

**FLORIANÓPOLIS
2011**

CARLA CASTELLO BRANCO BEIRÃO

**O POTENCIAL DO LASER SCANNER TERRESTRE PARA O
INVENTÁRIO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO**

Dissertação julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof. Roberto Caldas de A. Pinto - Coordenador do PPGEC

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wilhelm Philips – Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr.-Ing. Jürgen W. Philips - Moderador - ECV/UFSC

Prof. Dr. Francisco Henrique de Oliveira - ECV/UFSC

Prof. Dr. Jucilei Cordini - ECV/UFSC

Prof. Dr. Carlos Antonio Oliveira Vieira - CFH/UFSC

Prof. Dr. Irineu da Silva - EESC/USP

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Luiz e Marilda, e aos meus irmãos, Breno e Gustavo, por mais este passo dado com eles.

Ao Glauco, pelo incentivo aos meus estudos, pelo apoio nas horas difíceis, pela compreensão nas minhas longas horas de ausência, pelo companheirismo de vida.

Ao meu orientador por tudo que me ensinou.

Ao Prof. Francisco Henrique de Oliveira pelo convite a participar do Projeto Caminho das Tropas e por todo apoio dado durante o processo.

A toda a equipe do GeoLab/UDESC que participou do Projeto Caminho das Tropas.

À Geonorte Projetos Ltda. pelo impagável empréstimo do Laser Scanner Terrestre e software utilizados.

Ao amigo Guilherme Stähelin Coelho pela ajuda não só durante o escaneamento, mas ao longo destes meses de trabalho.

Ao amigo José Gaspar dos Santos Lima por todas as dúvidas esclarecidas e apoio dado.

Às minhas amigas de Mestrado, Juliana Reu Junqueira e Cristina B. Schlemper Vendruscolo, pela certeza de que as aulas não são apenas pelo conteúdo.

Ao Arq. Ulisses Munarim pelas informações passadas.

A CAPES pela bolsa recebida.

RESUMO

Mediante a necessidade do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) padronizar os dados espaciais documentados de sítios e bens históricos assim como de áreas que necessitem do seu parecer técnico, criou-se a necessidade de estudo de técnicas de levantamento destes dados. A esta dissertação coube o estudo do ***laser scanner*** terrestre para o inventário do patrimônio arquitetônico, onde se expôs quais os condicionantes para a obtenção de melhores resultados do levantamento, como é feito todo o processo e quais os produtos que podem ser alcançados.

Palavras-chave: *laser scanner* terrestre; patrimônio arquitetônico; Coxilha Rica.

ABSTRACT

By the need of the National Institute of Historical and Artistical Heritage (IPHAN) to standardize documented spatial data of historical sites and goods as well as areas in need of their technical advice, was created the need for study of surveying techniques. The study of terrestrial laser scanner for the inventory of architectural heritage was done in this dissertation, which exposed the conditions in which it would be possible obtain the best results for the survey, as is done the process and what products can be achieved.

Key words: terrestrial laser scanner; architectural heritage; Coxilha Rica

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	15
1.INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS PROPOSTOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
1.3 ESTRUTURAÇÃO	17
CAPÍTULO 2.....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1 VARREDURA A LASER.....	19
2.1.1 Sistemas estáticos.....	21
2.1.1.1 Princípio “ <i>time of flight</i> ” ou intervalo de tempo.....	21
2.1.1.2 Princípio baseado na triangulação	23
2.1.1.3 Princípio baseado na diferença de fase.....	24
2.1.2 Sistemas dinâmicos.....	26
2.2 APLICAÇÃO DO LASER SCANNER TERRESTRE	28
2.3 CONDICIONANTES PARA QUALIDADE DO REGISTRO	30
2.3.1 Precisão	31
2.3.2 Divergência angular	31
2.3.3 Resolução.....	33
2.3.4 Reflectância.....	34
2.3.5 Alinhamento das tomadas/ registro	35
2.3.6 Câmera fotográfica.....	36
2.3.7 Alcance	36
CAPÍTULO 3.....	39
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 MATERIAIS	39
3.1.1 Laser scanner terrestre.....	39
3.1.2 Alvos	42
3.1.3 Software de pós-processamento de dados do laser scanner terrestre	42

3.1.4 Par de receptores GNSS	44
3.1.5 Software de pós-processamento dos dados GNSS.....	45
3.1.6 Software para modelagem.....	45
3.2 ÁREA DE ESTUDO.....	46
3.2.1 Fazenda cajuru.....	48
3.3 MÉTODO	51
3.3.1 Escaneamento da área de estudo – levantamento a campo	53
3.3.2 Pós-processamento <i>laser scanner</i>	55
3.3.3 Georreferenciamento	56
3.3.4 Geração de produtos.....	57
3.3.4.1 Modelagem (3d).....	58
3.3.4.2 Vetorização (2d).....	61
CAPÍTULO 4	63
4. RESULTADOS E ANÁLISES.....	63
CAPÍTULO 5	69
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO.....	69
CAPÍTULO 6	73
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas sedes de fazendas na região da Coxilha Rica, escolheu-se a sede da Fazenda Cajuru junto ao IPHAN para a realização de um levantamento com *laser scanner* terrestre, a fim de se apontar quais as vantagens de sua utilização no levantamento de patrimônio cultural arquitetônico e quais as informações espaciais passíveis de serem obtidas através desta técnica.

1.1 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

O projeto Caminhos das Tropas, da Superintendência do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) de Santa Catarina, encontra-se com inventário em fase de finalização para proposição de tombamento. Este projeto refere-se ao patrimônio cultural afeito ao caminho que os tropeiros percorriam entre o Rio Grande do Sul e São Paulo, passando por Santa Catarina. Na região conhecida como Coxilha Rica, no interior do município catarinense de Lages, encontram-se remanescentes físicos deste percurso, constituídos por corredores de taipas que delimitavam os caminhos e inúmeras sedes de fazendas. Entretanto, os corredores de taipas estão perdendo suas características físicas devido à erosão, a aterramentos, dentre outros em razão do uso das estradas que atualmente passam em seus meios; e, as sedes de fazendas estão sendo reformadas aleatoriamente, descaracterizando o que elas representaram na época do Tropeirismo no Brasil.

Além disto, o IPHAN não conta com uma normatização que defina quais as técnicas a serem utilizados quando há a necessidade de levantamento de quaisquer dos tipos de patrimônio cultural no país. No caso de levantamento métrico e cadastral de edificações e sítios, o uso de trenas, paquímetros ou mesmo fotogrametria é comum.

O IPHAN, em parceria com o Laboratório de Geoprocessamento (GeoLab) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), pretende desenvolver uma técnica voltada à pesquisa, à identificação, à análise e o mapeamento dos elementos que compõem o patrimônio cultural (arqueológico, paisagístico, natural e cultural) da Unidade de Paisagem 01 (Coxilha Rica), do Planalto Sul Catarinense, através de recursos geotecnológicos considerando a perspectiva da representação tridi-

mensional. A esta dissertação coube a pesquisa em relação ao patrimônio cultural arquitetônico da região.

A Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (*International Society of Photogrammetry and Remote Sensing* - ISPRS) e o Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (*International Council on Monuments and Sites* - ICOMOS) criaram o Comitê Internacional para Documentação de Patrimônio Cultural (*International Committee for Documentation of Cultural Heritage* – CIPA) porque ambos acreditam que um monumento só pode ser restaurado e protegido quando este foi inteiramente medido e documentado e quando este processo tiver sido documentado inúmeras vezes, ou seja, monitorado, com respeito ao seu ambiente e armazenado em informações patrimoniais adequadas e sistemas de gestão.

Como cita Centeno et al. (2004), quando se fala em preservação de patrimônio, a preocupação se aplica não somente a prédios isolados, mas, como a Carta de Veneza (ICOMOS, 1964) salienta, deve ser estendida também ao meio ambiente no qual elas se localizam, de maneira a preservar o conjunto. No seu artigo, segundo a mesma carta, salienta que "na preservação e restauração dos monumentos devem ser aplicados os recursos de todas as ciências e técnicas que possam contribuir ao estudo e proteger da herança arquitetônica".

Pela dificuldade de levantamento métrico de edificações, no caso específico a sede de fazenda e todo o seu complexo (galpão, cozinha de chão, mangueiras), através dos equipamentos geotecnológicos mais comumente utilizados (estações totais, GNSS, níveis, câmeras fotogramétricas, etc.), optou-se pela utilização do *laser scanner* terrestre, equipamento capaz de obter milhares de pontos georreferenciados por segundo, atualmente muito utilizado, mas não ainda no Brasil, para o levantamento cadastral de patrimônios culturais, dentre eles, os arquitetônicos.

1.2 OBJETIVOS PROPOSTOS

1.2.1 Objetivo geral

Verificar o potencial da aplicação do *laser scanner* terrestre nos levantamentos de patrimônio cultural arquitetônico.

1.2.2 Objetivos específicos

- Verificar a facilidade da obtenção de dados em 2D a partir do levantamento do patrimônio arquitetônico com o *laser scanner* terrestre;
- Verificar as vantagens da modelagem tridimensional a partir do levantamento do patrimônio arquitetônico com o *laser scanner* terrestre;
- Verificar a possibilidade do levantamento cadastral de muros de pedra (taipas);
- Verificar as vantagens da obtenção de informações espaciais a partir da nuvem de pontos.

1.3 ESTRUTURAÇÃO

O presente trabalho está estruturado em seis capítulos, cada qual com sua respectiva descrição conforme indicado abaixo:

- Capítulo 1: explana a origem e as intenções deste trabalho;
- Capítulo 2: compreende a revisão de literatura a respeito das técnicas de *laser scanner*, suas aplicações e os condicionantes para a qualidade de registro;
- Capítulo 3: descreve os equipamentos e software utilizados no desenvolvimento desta pesquisa; apresenta a área de estudo e, por último, mostra os métodos empregados;
- Capítulo 4: expõe os resultados e as análises realizadas sobre a aplicação do *laser scanner* terrestre nos levantamentos de patrimônio cultural arquitetônico;
- Capítulo 5: apresenta a conclusão e as recomendações sobre o tema em questão;
- Capítulo 6: lista as referências bibliográficas utilizadas nesta dissertação.

CAPÍTULO 2

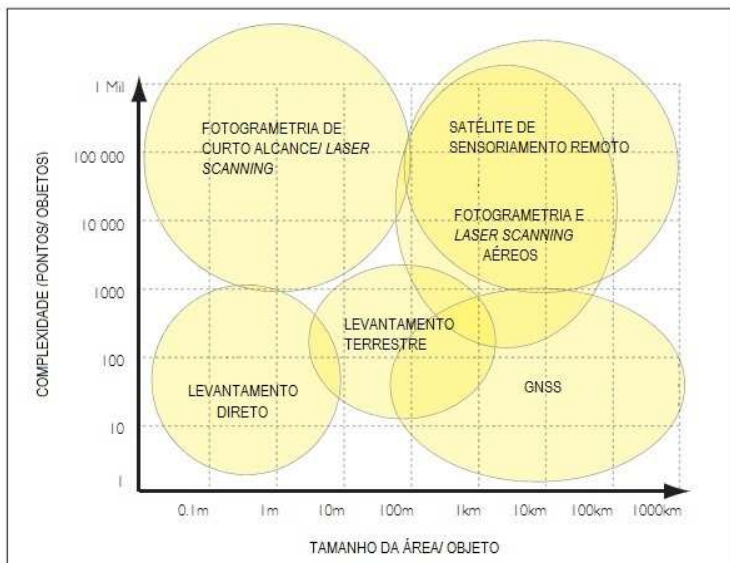
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 VARREDURA A LASER

LASER significa *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (Ampliação da Luz através da Emissão Estimulada de Radiação) e tem como outras denominações: LIDAR - *Light Detection And Ranging* (Detecção e Medição de Distância através de Luz) e LADAR - *Laser Detection And Ranging* (Detecção e medição de distância usando laser) - (CENTENO et al, 2007).

Para levantamentos tridimensionais, não há apenas a tecnologia de varredura a laser, mas uma variedade enorme de técnicas de levantamento, que podem se caracterizar pela escala em que podem ser usadas (o que é relacionado ao tamanho do objeto que poderia ser usado para medir), e sobre o número de medidas que poderão ser necessárias para a aquisição (o que está relacionado à complexidade do objeto), conforme Figura 1.

FIGURA 1: TÉCNICAS DE LEVANTAMENTO SEGUNDO ESCALA E COMPLEXIDADE



Fonte: *3D Laser Scanning for Heritage*, 2007, adaptado pela autora.

O mesmo guia explica que enquanto levantamentos diretos podem fornecer dimensões e posicionamento num raio de poucos metros, é impraticável para áreas maiores; e, na coleta de muitas medidas (por exemplo, 1.000 ou mais) seria muito trabalhoso e, conseqüentemente, um processo pouco atraente. Fotogrametria e varredura a *laser* (*laser scanning*) poderiam ser utilizadas para fornecer um número maior de medições para áreas de tamanhos similares e, também, são apropriados para objetos mais complexos. Ambas as técnicas podem também ser implantadas do espaço aéreo, de modo a fornecer dados de pesquisa abrangendo áreas muito maiores. Enquanto o *GNSS* (*Global Navigation Satellite Systems* – Sistema Global de Navegação por Satélite) pode ser utilizado para levantamentos em áreas de mesmo tamanho, o número de pontos coletados é limitado em comparação às técnicas aéreas, ou mesmo espaciais. *Laser Scanning*, seja aéreo ou terrestre, é uma das técnicas que permite a coleta de uma grande quantidade de informações tridimensionais em um curto período de tempo.

O termo *laser scanner* aplica-se a uma gama de instrumentos que operam com diferentes princípios, em diferentes meios e com diferentes níveis de precisão. Um termo genérico do *laser scanner*, de Böhler e Marbs (*3D Scanning Instruments*, 2002, apud *3D Laser Scanning for Heritage*, 2007) é: “qualquer dispositivo que colete coordenadas 3D de uma determinada área da superfície de um objeto automaticamente, num padrão sistemático e a uma taxa elevada (centenas ou milhares de pontos por segundo) alcance os resultados (por exemplo, coordenadas tridimensionais) em (quase) tempo real”.

Segundo Wutke (2006), a tecnologia de varredura a *laser* é um aperfeiçoamento dos princípios de sensoriamento remoto, cujos medidores passaram a realizar a medição de distâncias sem a necessidade de refletores, permitindo a determinação remota de coordenadas, sem tocar o objeto. Além do quesito distância do objeto medido, cada vez mais os sensores procuram realizar as medições num espaço de tempo menor.

O sistema *laser scanner* gera coordenadas tridimensionais de pontos sobre uma superfície num curto período de tempo. Os pulsos de laser são gerados e emitidos pelo sistema com o auxílio de um espelho de varredura atingindo os objetos que estejam a certa distância. Estes objetos refletem o pulso emitido e parte de sua energia volta para o sistema. Com isto, a medida da distância entre o sensor e o objeto iluminado é determinada através do intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (retorno) do pulso.

Os sistemas de varredura *laser*, ainda segundo Dalmolin (2004), são divididos em dois tipos: estático e dinâmico. O primeiro tipo é geralmente utilizado em levantamentos terrestres, em plataformas fixas, e o segundo caracteriza-se por medições em movimento, mais comumente transportados em aeronaves ou helicópteros, ou em veículos em menor escala de aplicação, embora também possa ser utilizado em plataformas espaciais (LIMA, 2008).

2.1.1 Sistemas estáticos

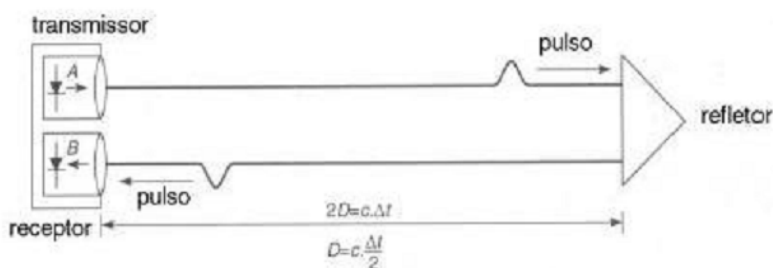
Dalmolin (2004) afirma que existem dois princípios distintos de medida a *laser* de distância com sistemas estáticos: o princípio “*time-of-flight*” ou intervalo de tempo e o princípio baseado na triangulação.

Entretanto, segundo Maia (apud WUTKE, 2006), existe um terceiro princípio, baseado no método de diferença de fase.

2.1.1.1 Princípio “*time of flight*” ou intervalo de tempo

Este princípio baseia-se no intervalo de tempo decorrido desde o instante da emissão do pulso até o instante do retorno do mesmo – *time of flight* – (Figura 2).

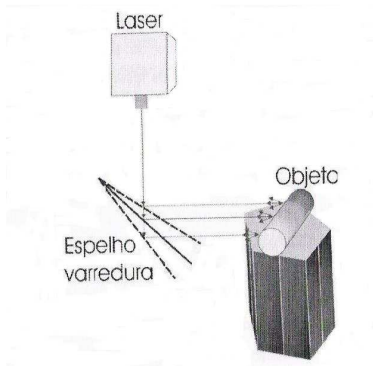
FIGURA 2: PRINCÍPIO “*TIME OF FLIGHT*”



Fonte: MAIA (1999, apud WUTKE, 2006)

O sensor envia um pulso *laser* para o objeto-alvo, este pulso é difusamente refletido pelo alvo e parte de seu sinal retorna ao sistema – (Figura 3).

FIGURA 3: SCANNER BASEADO NO PRINCÍPIO “TIME OF FLIGHT”



Fonte: DALMOLIN (2004)

O tempo (Δt) que o sinal leva entre sensor – objeto – sensor é medido. Com isso, calcula-se a distância (D) sensor – objeto utilizando-se a velocidade da luz ($c = 300 \times 10^3$ km/s). A distância é dividida por 2, pois é considerado o tempo de ida e de volta do sinal (LICHTI & HARVEY, 2002 apud WUTKE, 2006) – (Equação 1).

$$D = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t$$

(1)

Segundo Tomaselli (2003), o instrumento registra o tempo, a intensidade da energia refletida pelo objeto e os parâmetros de atitude do feixe, que são coordenadas polares do ponto em relação ao referencial do laser (Figura 3). Com estes dados é possível calcular a distância e as coordenadas cartesianas 3D dos pontos medidos em relação ao sensor. A intensidade pode ser usada para criar uma imagem associada à reflectância da superfície no comprimento de onda utilizado.

Esta técnica, segundo FRÖHLICH et al., permite medidas precisas de distâncias acima de cem metros. Na verdade, ela permite que sejam realizados levantamentos a quilômetros. Por exemplo, o alcance máximo dos *laser scanners* terrestre *Leica HDS4400*, *Riegl VZ-4000* e do *Optech ILRIS-LR* é de 700m, 4.000m e 3.000m respectivamente. O benefício de longos alcances implica em razoável acurácia (*Terrestrial Laser Scanners*, 2009). O *laser scanner* terrestre utilizado para este trabalho baseia-se neste princípio.

2.1.1.2 Princípio baseado na triangulação

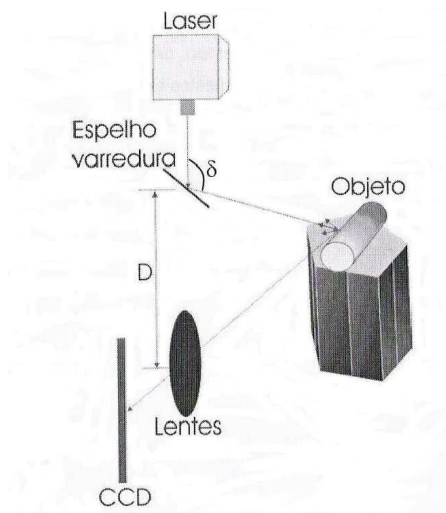
No princípio baseado na triangulação, um pulso de laser é emitido pelo sistema e a luz refletida pelo objeto que retorna é registrada por uma ou mais câmaras digitais (sensores CCD's – *Charge Coupled Device*). O ângulo de varredura dos pulsos é registrado no sistema a cada pulso emitido e conhecendo-se a base fixa entre o sensor laser e a(s) câmara(s), por meio de um processo de calibração determina-se a posição dos pontos refletidos pelo objeto (DALMOLIN, 2004).

Ainda segundo Dalmolin (2004), a distância entre o sensor e o objeto é geometricamente determinada através do ângulo δ e o comprimento da base (D) (Figura 4). A precisão depende do comprimento da base e da distância entre o objeto e o sensor. Com um comprimento de base fixa, o desvio padrão σ da distância medida aumentará proporcionalmente ao quadrado da mesma (Equação 2).

$$\sigma = \sqrt{D}$$

(2)

FIGURA 4: FUNCIONAMENTO DO SCANNER SOB O PRINCÍPIO DA TRIANGULAÇÃO

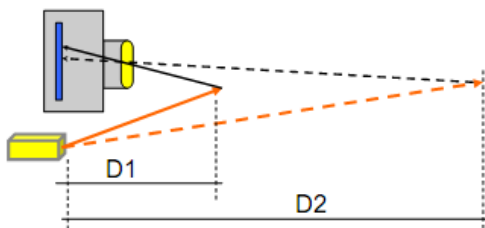


Fonte: DALMOLIN, 2004

Onde a equação (2) é verificada tornando-se pesos inversamente proporcionais ao comprimento da base (D).

Tomaselli (2003) afirma que este tipo de sensor transforma a luz refletida em sinais elétricos que por sua vez, são convertidos em bits através de um circuito denominado conversor analógico-digital.

FIGURA 5: PRINCÍPIO DE TRIANGULAÇÃO



Fonte: CENTENO, 2007

Segundo Centeno (2007), dependendo da distância entre o sensor e o objeto, o pulso laser refletido pela superfície aparece em lugares diferentes no plano da imagem. A câmara, o ponto na superfície e o emissor laser formam um triângulo (triangulação) - (Figura 5).

No caso, a geometria entre o emissor laser e o sensor CCD é conhecida e permite o cálculo das coordenadas tridimensionais dos pontos iluminados pelo feixe laser utilizando os conceitos da intersecção fotogramétrica. A precisão da reconstrução do modelo do objeto depende de elementos geométricos semelhantes, como a relação base/ distância (TOMASELLI, 2003).

Segundo Fröhlich, com esta tecnologia (triangulação), pode ser alcançada precisão de alguns micrômetros, sendo os equipamentos que se utilizam deste princípio conhecidos como “*scanners* de mesa”, uma vez que se destinam principalmente ao escaneamento de bens móveis. Como exemplo comercial deste tipo de equipamento tem-se os *laser scanners* L-Gage da série LH, marca Banner Engineering.

2.1.1.3 Princípio baseado na diferença de fase

Os *scanners* baseados no método da diferença de fase funcionam a partir da seguinte comprovação: a medida de diferença de fase, entre os sinais transmitidos e refletidos, da parte fracional do comprimento total,

é menor que o valor da parte inteira do comprimento de onda modulada (MAIA, 1999 apud WUTKE, 2006).

No caso, a distância é determinada pelo intervalo entre a emissão e registro do retorno, calculando a diferença de fase entre a onda de retorno em relação à onda emitida - (Figura 6). Nesse caso o laser é modulado em ondas senoidais. Velocidade de medição muito alta (>100.000 pontos/segundo). Como exemplo, tem-se os *laser scanners* terrestre *Leica HDS6200*, *Leica HDS7000* e o *Z+F Imager 5010* que emitem mais de 1.000.000 de pontos por segundo e tem alcance máximo de 79m, 187m e 187m respectivamente.

A distância do sensor até o objeto é calculada conforme a equação 3:

$$D = (M + dt) \cdot \lambda \quad (3)$$

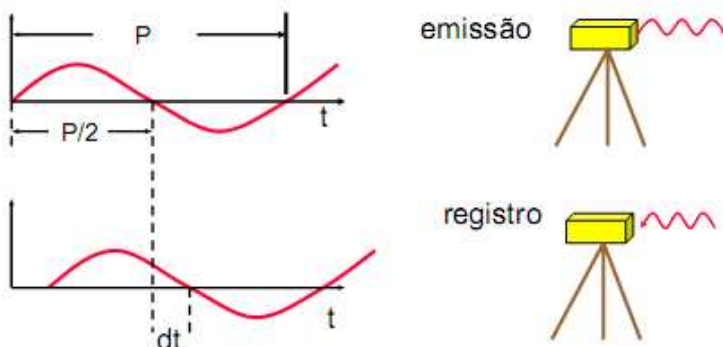
Onde:

M é o número inteiro de comprimento de onda;

dt é a parte fracional do comprimento de onda;

λ é o comprimento da onda.

FIGURA 6: PRINCÍPIO DA DIFERENÇA DE FASE, ONDE P, É O “PERÍODO” DA ONDA



Fonte: CENTENO (2007)

O alcance dos sistemas que se utilizam deste princípio é restrito e é possível a precisão de milímetros nas distâncias medidas (FRÖHLICH et al).

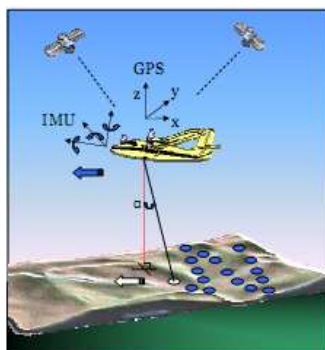
Existe também um sistema híbrido: o *Callidus CPW 8000*, utiliza tanto fase quanto pulsos para realizar suas medições, combinando um alcance máximo de 80m com precisão de 2mm em 30m com taxa de medição de 50.000 pontos por segundo.

2.1.2 Sistemas dinâmicos

Segundo Centeno (apud WUTKE, 2006), no sistema dinâmico, o varredor laser é instalado em plataformas móveis, como aviões, que sobrevoam a área em questão. Este sistema, assim como os sistemas estáticos por intervalo de tempo, em princípio, serve para medir a distância entre os objetos na superfície e o sensor (distanciômetro) (DALMOLIN, 2004).

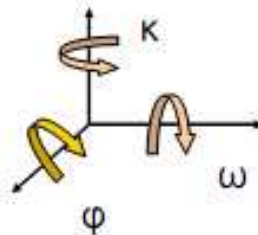
A posição exata dos pontos no terreno e a qualidade dos mesmos é obtida com o auxílio de um sistema de posicionamento com precisão compatível. A posição do sensor no momento da medição de cada ponto é determinada mediante um sistema de GPS diferencial (DGPS), encarregado de obter a posição (X, Y, Z) do avião/sensor no espaço em intervalos fixos (Figura 7). Um segundo sistema de apoio, a unidade de medição inercial (SMI/ IMU) é encarregada de calcular a inclinação ω , ϕ , κ do sensor em torno dos eixos X, Y, Z (Figura 8) em relação à XGPS, YGPS, ZGPS do sistema de posicionamento GPS (DALMOLIN, 2004).

FIGURA 7: FUNCIONAMENTO DO *LASER SCANNER* AEROTRANSPORTADO



Fonte: CENTENO et al. (2007)

FIGURA 8: INCLINAÇÕES DO SENSOR EM RELAÇÃO A X,Y,Z



Fonte: Centeno et al. (2007)

Há também no mercado, um *laser scanner* móvel para aplicações terrestres e marinhas, cujo sistema integrado é composto por *laser scanner*, *GPS* e sistema inercial, com todos os sensores num único equipamento. O sistema é leve, portátil e pode ser usado tanto em automóveis quanto em embarcações marítimas para o levantamento tridimensional de topografia, aglomerados urbanos, entre outros (Figura 9).

FIGURA 9: *LASER SCANNER* MÓVEL PARA APLICAÇÕES TERRESTRES E MARINHAS



Fonte: catálogo do *Dynascan* (MDL, 2008)

Neste trabalho será abordada apenas a aplicação voltada a levantamentos estáticos.

2.2 APLICAÇÃO DO *LASER SCANNER* TERRESTRE

As medidas de velocidades, de rotações e de concentrações (de materiais) e composições químicas são geralmente realizadas sobre alvos remotos, que podem constituir tanto objetos claramente definidos (ex.: superfície do terreno ou estruturas) como objetos difusos (ex.: nuvem ou fumaça, gases) (TOMMASELLI, 2003).

De acordo com Lima (2008), distintas técnicas e sistemas podem ser empregados, de acordo com a finalidade. Entre as técnicas mais comuns estão o perfilamento (*laser profiling*) e a varredura (*laser scanning*), que, podem ser terrestres (*ground-based* ou *tripod-mounted*), aéreas (*airborne*) ou mesmo espaciais (*spaceborne*).

O sistema de varredura terrestre, que será utilizado neste estudo, tem como principais aplicações:

- a) Na área de mineração (BARCIK et al., 2007 e LIMA, 2008):

FIGURA 10: IMAGEM DO MODELO DIGITAL DA CAVA PRINCIPAL DE UMA MINA EXTRAÍDA DA NUVEM DE PONTOS 3D



Fonte: acervo da empresa Manfra & Cia. Ltda.

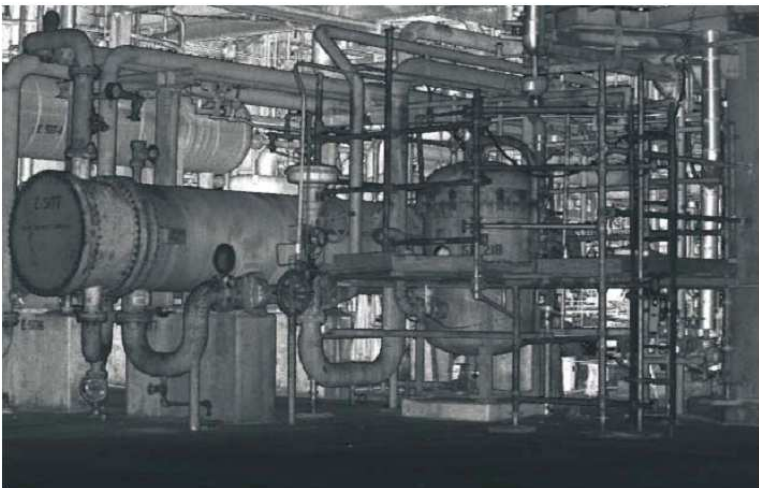
- Levantamento topográfico;
- Cálculo de volume;
- Controle da Diluição;
- Controle do ângulo do talude;
- Controle nos avanços da cava (Figura 10);
- Análise e planejamento de perfuração e detonação;

- Controle das Operações de Abertura do *Pit* (poço da mina);
- Cálculo da Inclinação das Paredes Mina;
- Planejamento e acompanhamento de frente de lavra;
- Controle de volume de pilhas de estoque e de rejeito;
- Monitoramento da barragem de rejeitos;
- Geração de Mapa Geológico e das Características Estruturais.

b) Inspeção estrutural:

- Deflexão de pontes;
- Modelagem industrial;
- Levantamento *As-built* (Figura 11);
- Auxílio no controle de patologias (LIMA, 2008);
- Geração de documentos (plantas) referente a estruturas antigas (LIMA, 2008).

FIGURA 11: NUVEM DE PONTOS TRIDIMENSIONAL DE INSTALAÇÃO INDUSTRIAL (*AS-BUILT*)



Fonte: OPTECH, 2004

c) Planejamento urbano:

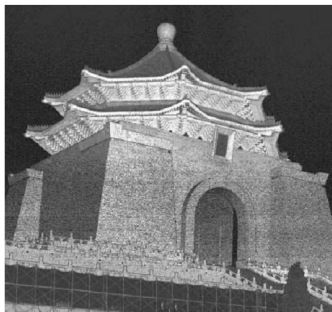
- Levantamento de planos/ elevações;
- Localização de utilidades;
- Localização do eixo de pista de rolagem;
- Localização e extensão de meio-fios;
- Determinação da tipologia da vegetação;
- Cadastro urbano.

d) Preservação e restauração histórica:

- Levantamento e modelagem (Figuras 12 e 13)
- Levantamento de escavações arqueológicas (LIMA, 2008).

FIGURA 12 (ESQ.): *CHIANG KAI SHEK MEMORIAL HALL, TAIPEI*

FIGURA 13 (DIR.): VISUALIZAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS DO LEVANTAMENTO REALIZADO NO *CHIANG KAI SHEK MEMORIAL HALL, TAIPEI*



Fonte: OPTECH, 2003.

e) Inventário Florestal.

2.3 CONDICIONANTES PARA QUALIDADE DO REGISTRO

Há condicionantes que fazem com que a qualidade do registro piore devido aos problemas gerados na captura dos dados (BOHELER et al., 2003 apud BORRAZÁS et al., 2009), aumentando o ruído ou resíduos na nuvem de pontos, ou seja, aparecem na nuvem pontos que não correspondem com a realidade. Estes são:

2.3.1 Precisão

Para a determinação da precisão de determinado equipamento/ levantamento há inúmeros fatores a serem considerados. Segundo Borrazás et al. (2009), deve-se levar em conta a distância entre o *scanner* e a superfície a ser medida já que a partir de certo limite a precisão passa a ser menor.

De acordo com Voegtler e Wakaluk (2009), pode ser provado que superfícies escuras (baixa reflectividade) diminuem a precisão do alcance, mas melhores resultados não foram obtidos com alta, mas com reflectividade média.

Já Lichti e Harvey (2002, apud Voegtler e Wakaluk, 2009) analisaram os efeitos de diferentes materiais naturais e artificiais na precisão do alcance de *Laser Scanner Terrestre Cyrax 2500* e como resultados descobriram que os desvios-padrão variaram entre ± 5 e ± 9 milímetros, mas um pouco do erro foi introduzido por uma fraca orientação dos objetos de teste em relação à direção do escaneamento. Lichti e Harvey também notaram que as diferenças entre as condições seca e úmida foram cerca de 3 mm.

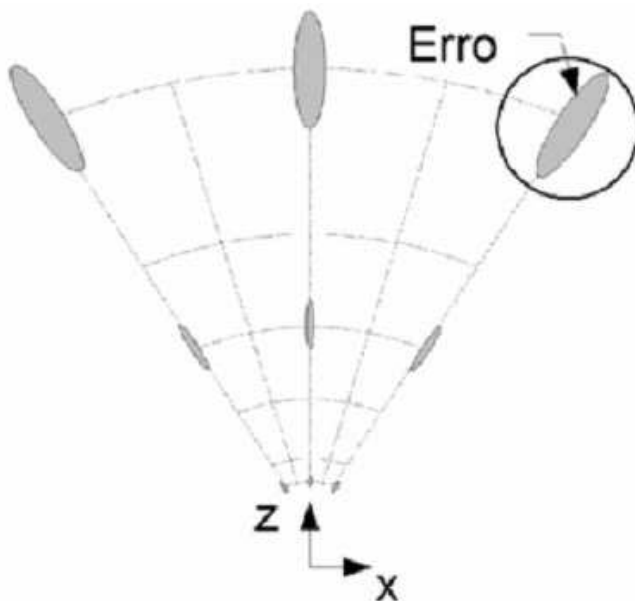
Também foi verificado por Buzinski et al. (1992, apud Beraldin, 2005) que a precisão diminui quando as medições são realizadas em objetos com descontinuidades abruptas, tais como bordas e furos.

Uma visão simplificada sobre precisão pode ser a de Beraldin (2005), que afirma que em seleção de um sistema de visão para uma determinada aplicação, é preciso levar em conta a capacidade do sistema em medir as características de interesse com a precisão requerida, isto é, cada levantamento dependerá de suas características específicas e de determinado equipamento para a obtenção da melhor precisão.

2.3.2 Divergência angular

Ainda segundo Borrazás et al. (2009), ao se registrar uma superfície que se encontra numa posição oblíqua em relação ao *scanner* ou nas bordas dos elementos registrados aumenta-se o número de ruídos ou resíduos nas nuvens de pontos. Isto se dá basicamente quando se medem áreas em que o laser deve atingir um ângulo oblíquo (objetos com descontinuidades abruptas, tais como bordas, furos e alvos).

FIGURA 14: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DA DISTRIBUIÇÃO DOS ERROS ESPACIAIS TÍPICOS DE UM *LASER SCANNER* TERRESTRE

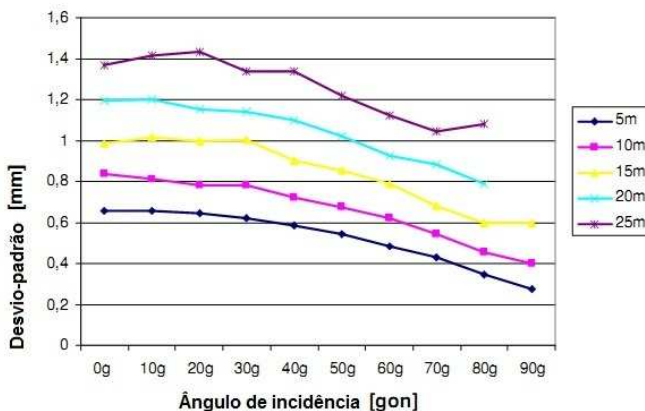


Fonte: *BERALDIN et al., 2005*

Segundo Buzinski et al. (1992 apud Beraldin, 2005), a informação que volta ao *scanner* é um único pulso de diferentes localizações além do objetivo, o que gera muitos pontos residuais - o tamanho do ponto laser é importante para se evitar este ruído - quanto menor é a área de incidência do *laser*, maior a precisão alcançada pelo *laser* (Figura 14).

Há uma clara tendência de diminuição das variáveis do desvio-padrão (σ_R) - cerca de 0,4 milímetros, com ângulos de incidência maiores que, como hipótese, pode ser explicada pelo *scanner a laser* ter uma precisão consideravelmente maior para medições angulares do que para medições de alcance, fato confirmado pelas instruções dos fabricantes onde o erro principal é causado pela medida de alcance. Para ângulos de grande incidência, o alcance tem um efeito menor sobre o desvio padrão derivado dos resíduos ortogonais ao plano ajustado (VOEGTLE, 2009), (Figura 15).

FIGURA 15: VARIAÇÃO DO DESVIO-PADRÃO Σ_R [mm] DAS MEDIÇÕES EM RELAÇÃO AO ÂNGULO DE INCIDÊNCIA [gon]¹ (50% DE REFLECTÂNCIA)



Fonte: VOGTLE E WAKALUK(2009), adaptado pela autora

2.3.3 Resolução

Nos sistemas de escaneamento a *laser* a resolução está sempre vinculada a uma distância e à taxa de medição escolhida. Beraldin (2005), por exemplo, fez o levantamento de uma Cripta utilizando o *laser scanner Mensi SOISIC-2000*, que tem como distância mínima de alcance 0,8m e máxima de 10 m. A incerteza sobre a faixa superfície da Cripta da parede de 2,5 m é cerca de 0,8 mm (1 sigma) e a taxa de dados é de 100 pontos em 3D por segundo. Embora o X-Y amostragem espacial obtida com este *scanner* é cerca de 0,25 mm a uma distância de 2,5 m, foi decidido usar um passo mais grosseiro na malha de amostragem (5 mm) para fazer o tempo de varredura mais rápido dentro de uma precisão considerada apta ao serviço (parte do teto e piso estão em uma etapa de 15 mm). Este nível de resolução foi considerado adequado, embora não ideal. Segundo Beraldin (2005), um *scanner* mais rápido teria permitido para o mesmo tempo de varredura total, uma resolução espacial X-Y dez vezes melhor (por eixo) do que o que foi imposto por limitações de tempo, ou seja, de 5mm a 0,5mm.

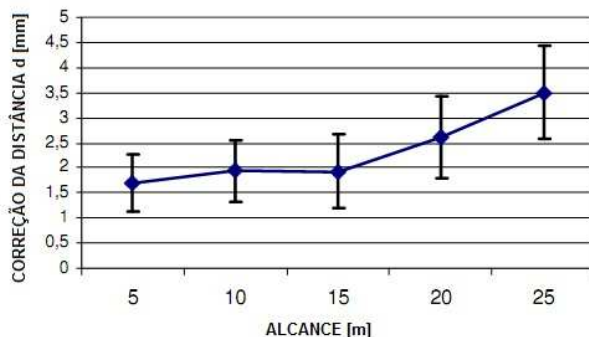
¹ Símbolo internacional de grau, que é uma unidade de medida de ângulos planos equivalente a $\pi/200$ radianos ou 0,9 graus.

2.3.4 Reflectância

As propriedades reflectantes das superfícies influem na força do sinal de retorno que volta ao *scanner*. As superfícies de cores escuras têm um fator de reflectância menor e as brancas maior porque as cores escuras têm um fator de desvio mais alto e acumulam mais erros, embora isto também dependa do tipo de espectro do *laser* (vermelho, verde, etc.). Além da cor, as propriedades reflectantes também são influenciadas pela textura: as brilhantes e lisas têm um fator de reflectância mais forte do que as foscas e ásperas (BOHELER et al., 2003 apud BORRAZÁS, 2009).

Segundo testes de Voegtler e Wakaluk (2009), os resultados mostram que o valor de correção da distância não é constante, mas aumenta com distâncias mais longas (não linear) e menor refletividade do material de superfície. O desvio padrão das medições das distâncias também aumenta com distâncias mais longas (cerca de um fator de dois em 25m) e reduzido (cerca de um fator de quatro a 5%), mas diminui com ângulos maiores de incidência, o que confirma os resultados de outros grupos de pesquisa. Os valores de intensidade são bastante constantes para diferentes distâncias, mas diminuem com maiores ângulos de incidência. Desvio padrão de intensidade aumenta com maior refletividade. Problemas ocorreram com concreto (variação extrema de valores de parâmetro) e placas de metal (efeitos de saturação).

FIGURA 16: VALOR DA CORREÇÃO DA DISTÂNCIA D E SUA INCERTEZA EM RELAÇÃO À DISTÂNCIA (ALVO COM 50% DE REFLECTIVIDADE)



Fonte: VOEGTLE E WAKALUK (2009), adaptado pela autora.

Os valores de correção da distância d mostram uma certa dependência sobre a distância de medição, ou seja, um aumento de aproximadamente 2mm entre a distância mais próxima (5m) e a mais longe (25m), conforme Figura 16.

Maior reflectividade causa tendências semelhantes, mas com menores valores de correção. O σ_R desvio-padrão de alcance das medições aumenta por um fator de cerca de dois entre 5m e 25m (Tabela 1). Os valores diminuem com o aumento da reflectividade significativamente por um fator de quatro.

TABELA 1: DESVIO-PADRÃO ΣR [mm] EM MEDIÇÕES EM RELAÇÃO À DISTÂNCIA E REFLECTIVIDADE DA SUPERFÍCIE

Reflectividade	5m	10m	15m	20m	25m
5 %	± 1.9	± 2.6	± 3.3	± 4.5	± 5.3
20 %	± 0.9	± 1.2	± 1.5	± 1.9	± 2.0
50 %	± 0.7	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.4
90 %	± 0.6	± 0.6	± 0.8	± 0.9	± 1.0
98 %	± 0.5	± 0.7	± 0.7	± 0.9	± 1.0

Fonte: VOEGTLE E WAKALUK(2009), adaptado pela autora

Outras constatações realizadas por Voegtler e Wakaluk (2009) são que cores escuras (baixa reflectividade) causaram uma diminuição significativa de precisão, porém melhores resultados não foram obtidos com alta, mas com reflectividade média e que, a medição de ruído geométrica (e densidade de pontos) diminui com maiores ângulos de incidência e, também depende da cor das superfícies. Cores bem diferentes da cor do *laser* produzem desvios maiores.

2.3.5 Alinhamento das tomadas/ registro

Para a cobertura integral tridimensional do objeto, estrutura ou local a ser levantado, são necessárias varreduras tomadas de diferentes ângulos a fim de se obter o maior detalhamento possível, sem que haja sombras na nuvem de pontos coletada. Quando coletados, os pontos escaneados são baseados em um sistema local de coordenadas, de modo que para a utilização de todas as varreduras realizadas juntas a sua posição e orientação devem ser alteradas para que cada estação use um mesmo sistema de referência comum a todas (que pode ser baseada num sistema de coordenadas local), (*3D Laser Scanning for Heritage. Advice*

and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture, 2007).

Este processo é conhecido como alinhamento de nuvens ou registro.

No caso do *ScanStation C10*, equipamento utilizado neste trabalho, o alinhamento das tomadas pode ser realizado por poligonais, assim como é utilizado em topografia convencional, por exemplo, com estações totais, porém ao invés do uso de prismas, são utilizados alvos, cujo reconhecimento é inteligente de automática identificação e extração pelo *software Cyclone*, nas visadas de ré e vante da poligonal. Esta identificação do alvo é possível devido às diferenças de reflectividade entre o centro do alvo e a superfície principal do alvo.

2.3.6 Câmera fotográfica

Câmeras digitais (de vídeo ou quadros) permitem a aplicação das cores reais das superfícies levantadas em 3D às nuvens de pontos. Entretanto, segundo Geisecker (2006), a texturização de modelos tridimensionais gerados a partir de dados de varredura a *laser* utilizando-se de imagens de uma câmera sem conhecimento prévio de sua posição e orientação requer, por exemplo, a definição manual dos pontos de ligação em ambos os dados da varredura e da imagem para calcular os parâmetros da imagem. Integrar uma câmera de alta resolução calibrada em um sistema de varredura a *laser* oferece um sistema muito eficiente, conveniente e poderosa para gerar automaticamente com precisão textura de alta resolução de modelos tridimensionais.

O fato de a câmera fotográfica do *ScanStation C10* estar exatamente no mesmo eixo (lado oposto) ao feixe *laser* faz com que a nuvem de pontos seja colorida com a maior realidade de cores possível, uma vez que as fotos serão tomadas exatamente do mesmo ponto de onde sairá o feixe *laser* que realizará a varredura dos pontos. E, segundo Andreoni (2004), o mapeamento de textura (texturização) realizado com a coloração das superfícies trianguladas do modelo sólido com a cor correspondente da imagem orientada dá um resultado onde o rigor do modelo analítico é associado com a veracidade da pesquisa fotográfica.

2.3.7 Alcance

O alcance máximo não depende apenas do *laser scanner* terrestre em si, mas, como *laser scanners* operam em modo remoto, depende também da reflectividade do objeto. Alguns fabricantes inclui-

ve indicam o alcance máximo do equipamento acompanhando ao alcance um percentual de reflectividade (também chamada de Albedo).

O ângulo de incidência que o *laser* atinge o objeto escaneado também interfere em seu alcance máximo, conforme exposto na Figura 15.

Só os sistemas *time-of-flight*, que fazem uso de *laser* pulsado, são adequados para aplicações de longo alcance. Sistemas *phase-shift* são particularmente adequados para alta precisão de curto alcance e aplicações de médio alcance, para as quais altas densidades de pontos são necessárias (GIM International, 2007).

CAPÍTULO 3

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 *Laser scanner* terrestre

O *Laser Scanner* Terrestre utilizado para o levantamento proposto foi o ScanStation C10, da *Leica Geosystems* (Figura 17), gentilmente cedido pela empresa Geonorte Projetos Ltda., de Xanxerê – SC para a realização deste trabalho.

FIGURA 17: *LEICA SCANSTATION C10*



Fonte: acervo da autora

Este equipamento é chamado pela própria *Leica Geosystems* como o “Tudo-em-um” (*All-in-One*), uma vez que ele se diferencia dos demais *laser scanners* atualmente no mercado por ter características que o fazem se assemelhar a uma estação total, como por exemplo, o compensador duplo, a possibilidade de se alinhar as diversas tomadas através de poligonais, a memória interna de 80 GB e o prumo *laser*. Outra facilidade observada na utilização do mesmo foi a possibilidade de uso em campo sem a necessidade de um *notebook* ligado a ele durante o processo, deixando o computador apenas para o escritório.

Segundo o catálogo do equipamento (LEICA, 2009), suas especificações técnicas são (Tabela 2):

TABELA 2: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO *LASER SCANNER* TERRESTRE *LEICA SCANSTATION C10*

PERFORMANCE DO SISTEMA	
Acurácia de medida isolada:	
Precisão de posição*	6mm
Precisão de distância*	4mm
Precisão de ângulo (vertical e horizontal)	60 μ rad / 60 μ rad (12" / 12")
Precisão após modelagem*	2mm
Aquisição do alvo***	2mm de desvio padrão
Compensador duplo	Selecionável <i>ON/OFF</i> , resolução 1", alcance dinâmico +/- 5', precisão 1,5"
SISTEMA DO ESCANEAMENTO A LASER	
Tipo	Pulsado (<i>time-of-flight</i>); <i>microchip</i> de propriedade
Cor	Verde, comprimento da onda: 532nm
Classe do laser	3R (IEC 60825-1)
Alcance	300m com 90%; 134 m com 18% albedo (alcance mínimo: 0,1m)
Taxa de medição	Até 50.000 pontos/ segundo
Resolução do escaneamento:	
Tamanho do ponto	De 0-50m: 4,5mm (baseado em FWHH) e 7mm baseado em Gaussian
Espaçamento entre pontos	Horizontal e vertical totalmente selecionável; espaçamento mínimo < 1mm, em todo alcance; capacidade de intervalo de ponto único
Campo de visão:	
Horizontal	Máximo 360°
Vertical	Máximo 270°
Alvo/ visualização	Sem paralaxe, vídeo <i>zoom</i> integrado

Óptica do escaneamento	Espelho de rotação vertical sobre um eixo de rotação na horizontal; <i>Smart X-Mirror</i> ^{TM****} gira ou oscila automaticamente para melhor produtividade
Armazenamento	80Gb (disco rígido interno)
Tela (<i>display</i>) incorporada	Controle tátil com lápis óptico; tela gráfica colorida; QVGA (320 x 240 <i>pixels</i>)
Indicador de nível	Bolha externa, bolha eletrônica de controle incorporada e <i>software Cyclone</i>
Transferência de dados	<i>Ethernet</i> ou USB 2.0
Prumo <i>laser</i>	Classe do <i>laser</i> : 2 (IEC 60825-1) Precisão focal: 1,5mm a 1,5m Diâmetro do ponto <i>laser</i> : 2,5mm a 1,5m.
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
<i>Scanner:</i>	
Dimensões (L x A x P)	358mm x 395mm x 238mm
Peso	13kg (sem baterias)
Bateria interna:	
Dimensões (L x A x P)	72mm x 77mm x 40mm
Peso	0,4kg
Bateria externa:	
Dimensões (L x A x P)	248mm x 60mm x 95mm
Peso	1,9kg

Fonte: *Leica Geosystems*

* Alcance de 1 – 50m, um sigma

**Sujeito à metodologia de modelagem para superfícies modeladas

***Ajuste algorítmico para alvos HDS (*High Definition Systems*) planos

****Ele também alinha automaticamente a câmera de vídeo integrada de alta resolução com o *laser* para o alcance rápido do alvo e para a rápida e precisa texturização dos escaneamentos.

A câmera digital colorida integrada com vídeo *zoom* de 4 megapixels permite a aplicação das cores reais das superfícies levantadas em 3D às nuvens de pontos. Ela se auto-ajusta à iluminação do ambiente,

cria imagens únicas de $17^\circ \times 17^\circ$ (1920 x 1920 pixels) e num domo completo de $360^\circ \times 270^\circ$ ela captura 230 fotos.

Conforme explicado no item 2.1.1.1, o *Leica ScanStation C10* é um varredor a *laser* que se utiliza do princípio “*time of flight*” de medição.

3.1.2 Alvos

Os alvos HDS da *Leica Geosystems* já citados anteriormente (item 2.3.6) têm uma rosca fêmea 5/8” para encaixe nos bastões ou bases magnéticas. Em sua maioria, são inclináveis e giratórios (“*tilt & turn*”) para melhor orientação ao scanner. O único modelo que não segue o padrão faz parte do sistema “*twin-target pole*”, que contém dois alvos planos (em cima e embaixo) além da possibilidade de instalação de um prisma no mesmo eixo dos alvos (Figura 18).

FIGURA 18: ALVOS HDS LEICA GEOSYSTEMS: A) ALVO PEQUENO AZUL QUADRADO (3”x 3”); B) ALVO GRANDE AZUL CIRCULAR (6”); C) ALVO GRANDE BRANCO&PRETO CIRCULAR (6”); D) O SISTEMA “*TWIN-TARGET POLE*”



Fonte: *Leica Geosystems*

3.1.3 Software de pós-processamento de dados do *laser scanner* terrestre

Em sua maioria, os equipamentos topográficos de uma determinada marca dependem de *software* de pós-processamento de dados da mesma marca do equipamento, sejam essas estações totais, GNSS's ou *laser scanners*. Sendo assim, como foi utilizado um *laser scanner* terrestre da marca *Leica Geosystems*, o *software* de pós-processamento de

dados utilizado também teve que ser da mesma marca, no caso o *Leica Geosystems HDS Cyclone*.

O *Leica Geosystems HDS Cyclone* é um *software* de processamento de nuvem de pontos, composto por diversos módulos, cada qual utilizado para diferentes necessidades, como engenharia, levantamentos topográficos, *as-builts*.

Através dele é possível o gerenciamento dos dados captados no escaneamento a *laser* em bancos de dados utilizados simultaneamente.

Dentre sua modulação tem-se:

- *Cyclone-SCAN*: é a interface do *software* para a operação do *Leica ScanStation*. Nele se determina configurações específicas do usuário em cada escaneamento como a área a ser escaneada, a densidade dos pontos a ser utilizada, além de filtragem de dados, automatização do escaneamento e reconhecimento automático de alvos *Leica*.
- *Cyclone-REGISTER*: provê o completo conjunto de ferramentas para o alinhamento das tomadas (nuvens de pontos capturadas de diferentes posições de escaneamento), de forma fácil e precisa. Suporta o uso de alvos *Leica Geosystems HDS* para georreferenciar dados de escaneamento, bem como provê a habilidade de alinhar áreas sobrepostas de nuvens de pontos - sem o uso de alvos.
- *Cyclone-MODEL*: este módulo permite a utilização das nuvens de pontos diretamente; processá-las em objetos para exportação e importação de CAD's (*Computer-aided design* – Desenho assistido por computador) e outras aplicações. Tem um completo conjunto de ferramentas para modelagem de nuvens de pontos 3D.
- *Cyclone-SURVEY*: permite a extração das características e informações de coordenadas dos dados de nuvem de pontos através da função *Cyclone Virtual Surveyor* (tm).
- *Leica TruView* e *Cyclone-PUBLISHER*: o *Leica Cyclone-PUBLISHER* publica dados de nuvens de pontos para compartilhamento e visualização via web (*World Wide Web*, em português: Rede de Alcance Mundial), permitindo o acesso aos dados de qualquer parte do mundo. Usando visualizador panorâmico de nuvens de pontos gratuito *Leica TruView*, é possível a qualquer usuário a visualização de toda a nuvem de pontos, inclusive com aproximação (*zoom*), onde se pode extrair, por exemplo, as coordenadas tridimensionais levantadas ou medidas

exatas. É possível também realizar anotações sobre a imagem panorâmica, anexar projetos, criar *links* entre o projeto e a nuvem de pontos e permitir que um terceiro possa visualizar além da nuvem de pontos, todas as anotações nela realizadas.

- Leica CloudWorx para AutoCad é um aplicativo que permite aos usuários a utilização da nuvem de pontos diretamente no *AutoCad*, adicionando ferramentas para visualização e trabalho com parte dos dados de nuvens de pontos para aumentar a velocidade da criação do desenho 2D.

3.1.4 Par de receptores GNSS

Para a obtenção das coordenadas de referência para o levantamento foi utilizado o par de receptores GNSS *Leica Viva* do GeoLab/ FAED/ UDESC. O sistema é equipado com placa de medição GNSS (*Global Navigation Satellite System* – Sistema Global de Navegação por Satélite) de 120 canais paralelos e independentes com capacidade de rastreamento de até 60 satélites simultaneamente, rastreia todos os sinais da constelação GPS (*Global Positioning System* – Sistema de Posicionamento Global) - (Código e Fase L1, L2, L2C e preparado para L5) e GLONASS (Código e Fase – L1 e L2) (Figura 19).

FIGURA 19: BASE (ESQUERDA) E ROVER (DIREITA) DO GNSS LEICA VIVA



Fonte: acervo Manfra & Cia. Ltda.

A precisão de posicionamento é de 3mm + 0,5ppm (horizontal), 6mm + 0,5ppm (vertical) para ocupações no modo Estático; 5mm +

0,5ppm (horizontal), 10mm + 0,5ppm (vertical) no modo Estático-rápido; 10mm + 1ppm (horizontal), 20mm + 1ppm (vertical) no modo Cinemático e precisão típica de 25cm para posicionamento em código diferencial DGNS (Differential Global Navigation Satellite System – Sistema Diferencial Global de Navegação por Satélite). Possui tecnologia *Leica SmartTrack+*, que proporciona redução do multicaminho e melhor rastreamento dos satélites com baixo tempo de aquisição e reaquisição de dados e *Leica SmartCheck+*, que utiliza diferentes combinações de satélites para verificar a solução obtida continuamente e garantir resultados com confiabilidade melhor que 99,99%. Possui tempo de inicialização típico de 8 segundos e alcance OTF (*On the fly*) de até 50 Km.

3.1.5 Software de pós-processamento dos dados GNSS

O *software* de pós-processamento dos dados GNSS utilizado foi o *Leica Geo Office 5.0*, que inclui as seguintes funcionalidades padrão: gerenciamento dos dados; edição e visualização; geração de relatórios flexíveis; importação e exportação de dados; transformação de coordenadas; pós-processamento de dados de GNSS, estações totais e níveis; ajustamento de rede e exportação GIS/CAD.

Foi utilizado para o pós-processamento dos dados obtidos com o GNSS Viva para o cálculo das coordenadas dos pontos E1 e E0, de onde se iniciou o levantamento com o *laser scanner* terrestre. Explicar-se-á mais detalhadamente este processo no item 2.6.3.

3.1.6 Software para modelagem

O *Autodesk 3ds Max 2001* é um *software* de modelagem, animação, renderização e composição 3D, já o *3ds Max Point Cloud Tools – Project Helix Technology Preview* é um *plugin* que permite a visualização, modelagem e renderização de dados LIDAR (nuvem de pontos) no *Autodesk 3ds Max 2010, 2011 e 2012* através da importação de arquivos no formato .PTS. Este *plugin* estará disponível gratuitamente por tempo limitado, até dia 20 de dezembro de 2011.

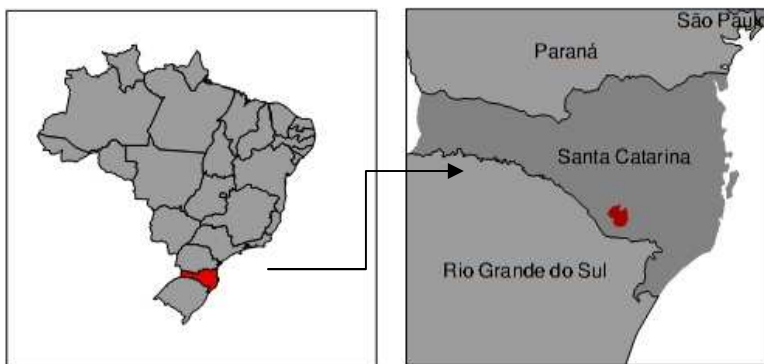
3.2 ÁREA DE ESTUDO

No Planalto Serrano, na divisa dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, a herança da época do tropeirismo ainda é notável, pois ali surgiu uma sociedade, uma economia e uma cultura específicas, quando a região formada pelos Campos de Lages foi cortada pelo “Caminho das Tropas”, na primeira metade do século XVIII, ligando Viamão, no Rio Grande do Sul, a Sorocoba, em São Paulo (Teixeira, 2010 e Caminho das Tropas, [1984?]).

Principal rota de um completo sistema viário, o “Caminho das Tropas” foi o grande responsável pelo desenvolvimento do ciclo tropeiro, abastecendo os mercados consumidores do Sudeste com milhares de tropas de gado vacum, cavalar e, sobretudo, muar, provenientes das regiões criadoras platinas. Foi às margens dele que se estabeleceram as primeiras propriedades rurais. Mais do que isso, esta rota assegurou a integração definitiva do sul ao centro do Brasil, consolidando os domínios territoriais luso-brasileiros disputados com os espanhóis, já que os paulistas e paranaenses que por ali trilhavam, acabaram por estabelecer um baluarte contra o avanço espanhol (Teixeira, 2010 e Caminho das Tropas, [1984?]).

FIGURA 20 (ESQ.): LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA NO BRASIL. SEM ESCALA

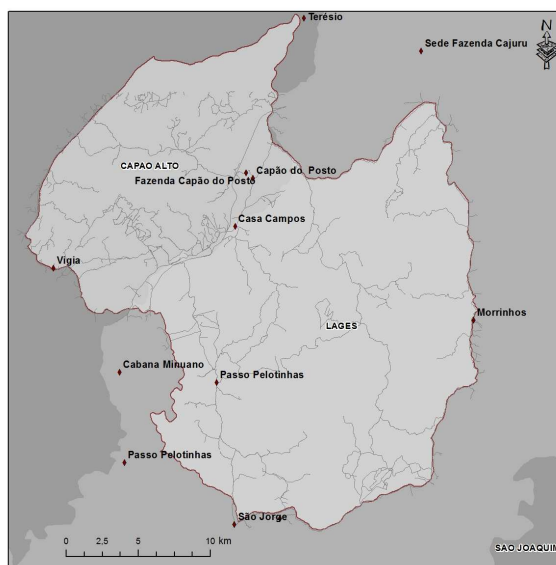
FIGURA 21 (DIR.): LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO DEMARCADA PELO IPHAN PARA POSSÍVEL TOMBAMENTO NA COXILHA RICA, NO MUNICÍPIO DE LAGES, EM SC. SEM ESCALA



Fonte: GeoLab/ FAED/ UDESC

Desta época, segundo Teixeira (2010) ainda remanescem antigas sedes de propriedades rurais oriundas da fase áurea do ciclo das tropas e da pecuária. Tais propriedades, fazendas de criação de gado, apresentam complexos construtivos que abrangem, de uma maneira geral, a casa-grande, moradia do fazendeiro, bem como galpões e conjuntos de mangueiras (currais), com a particularidade de serem totalmente erguidas em alvenaria de pedra de junta seca, as denominadas “taipas de pedra”, em proveito dos afloramentos de rocha basáltica abundantes na região.

FIGURA 22: ÁREA DEMARCADA PELO IPHAN NA COXILHA RICA E LOCALIZAÇÃO DA SEDE DA FAZENDA CAJURU



Fonte: GeoLab/ FAED/ UDESC

Dentro deste contexto, o IPHAN demarcou uma área a ser levantada na Coxilha Rica, em Lages (Figuras 21 e 22) e, a nordeste desta área, foi escolhida a sede de uma fazenda com as características acima mencionadas, a Fazenda Cajuru (Figura 22). Foi escolhida esta fazenda mesmo estando um pouco além da área demarcada em razão de um acordo entre o IPHAN e o proprietário deste imóvel, pois há o interesse de preservação e documentação do imóvel por parte do IPHAN, por se

tratar de uma fazenda ainda com as características da época do tropeirismo.

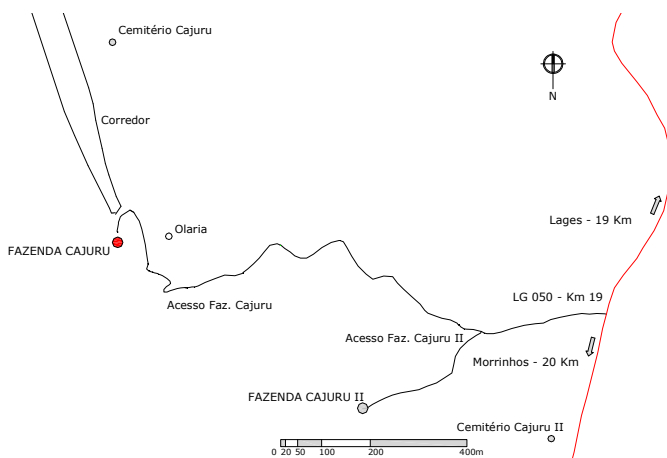
3.2.1 Fazenda cajuru

A Fazenda Cajuru, situa-se no município de Lages-SC, à LG 050, km 19, conforme Figura 23 (abaixo) e, atualmente, é de propriedade do Sr. Sérgio Batista Arruda.

A sede da fazenda foi construída em 1865 por Policarpo Andrade, o segundo dono da fazenda foi o Sr. João Severiano Waltrick, que deixou para seu filho Leopoldo de Oliveira Waltrick, sogro de Sérgio Batista Arruda, que a comprou em 1986.

Conforme Teixeira (2010), a implantação da sede da fazenda serra-na obedeceu principalmente a uma necessidade estratégico-defensiva, em razão dos conflitos pela delimitação de fronteiras, e hierárquica, como casa senhorial e núcleo organizador da propriedade. Em razão disso, situaram-se em sítios elevados, geralmente em coxilhas (colinas) mais destacadas, a fim de que se pudesse vislumbrar amplo visual das áreas de entorno, controlando-se de certa forma o que se passava ao redor, a grande distância.

FIGURA 23: CROQUI DE LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA CAJURU

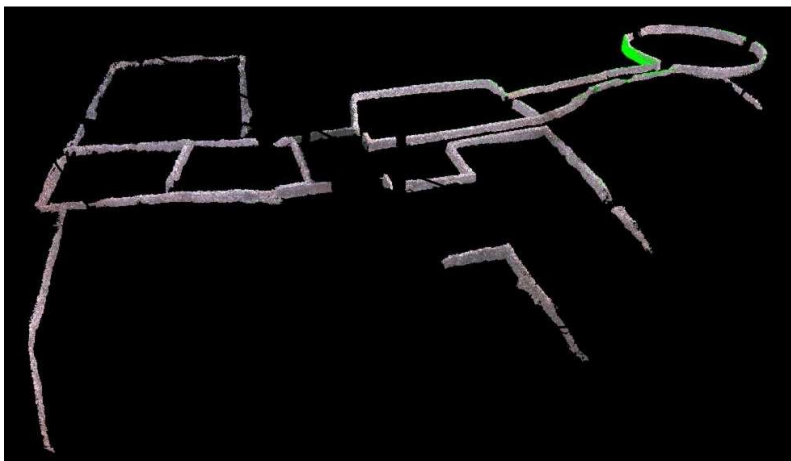


Fonte: Inventário de Conhecimento. IPHAN, 2008.

Por outro lado, Teixeira (2010) afirma que, sobretudo na medida em que se aproxima do final do século XIX, estando definidas as questões de fronteira e em função de uma maior estabilidade política e social, a preocupação defensiva, deixa de ser fundamental para a escolha do local de construção da sede da propriedade. Datam deste período as fazendas implantadas de forma menos exposta, à meia encosta de terrenos acidentados, ainda mantendo vistas privilegiadas – fazendas Cajuru e São Domingos, em Lages - SC – ou no fundo de pequenos vales, ficando cercadas por morros – fazenda Morrinhos, em Lages.

“A casa de fazenda é o centro de um complexo de construções e espaços de apoio formado pelo jardim fronteiro ou lateral à casa, horta, pomar, terreiro (onde são criados porcos, galinhas e outros animais domésticos de pequeno porte), roças (situadas nas imediações da moradia para fornecimento de gêneros alimentícios), o galpão, construção essencial à atividade pastoril, implantado em uma das laterais ou atrás da moradia, e as mangueiras (currais), de dimensões e formatos diversos, igualmente fundamentais à lida com o gado e suas atividades específicas – recolhimento e aparte dos animais, marcação e castração, doma de cavalos, etc.” (Teixeira, 2010).

FIGURA 24: NUVEM DE PONTOS DAS TAIPAS DA FAZENDA CAJURU



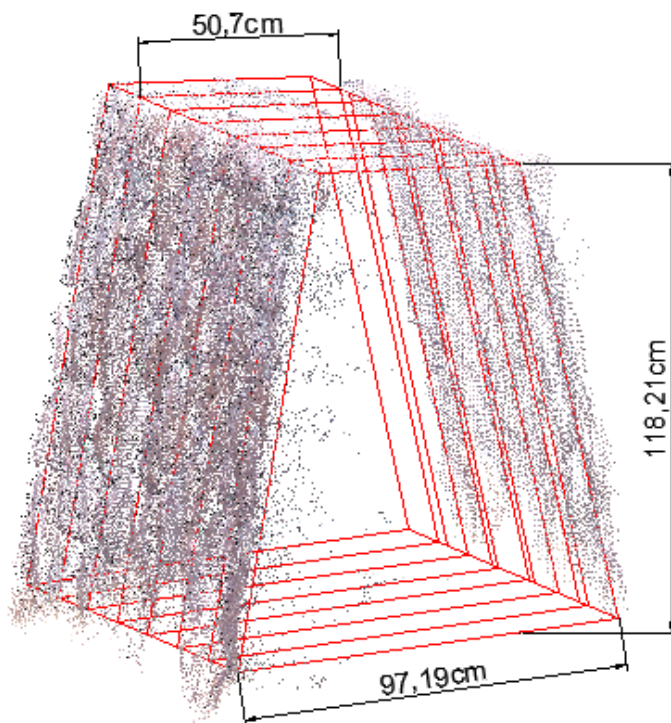
Fonte: acervo da autora.

Na fazenda Cajuru, além das mangueiras retangulares, mais comuns, encontra-se também uma mangueira circular conforme Figura 24. “A interligação entre esses elementos é obtida pelos muros erguidos em

pedra de junta seca, conhecidos na região serrana como taipas de pedra e destinados ao cercamento dos diferentes espaços livres que compõem o complexo da sede da fazenda (jardins, hortas, roças e mangueiras)” - (TEIXEIRA, 2010).

Segundo Teixeira (2010), “tanto para os corredores, divisas de campo e mangueiras, emprega-se para a construção da taipa uma seção de desenho trapezoidal, cuja altura é proporcional às larguras da base, maior, de forma a garantir a sustentação da estrutura, e do topo, menor. A medida da largura do topo geralmente é metade ou cerca de um terço da medida da largura da base”. Conforme Figura 25, onde se tem a seção transversal de parte de uma taipa da Fazenda Cajuru, pode-se comprovar o que foi dito pelo Teixeira, já que a largura do topo (50,70cm) corresponde à praticamente metade (52,16%) da largura da base (97,19cm).

FIGURA 25: SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TAIPA COTADA



Fonte: *Cloudworx*, feito pela autora

FIGURA 26: CASA-SEDE DA FAZENDA CAJURU



Fonte: acervo da autora

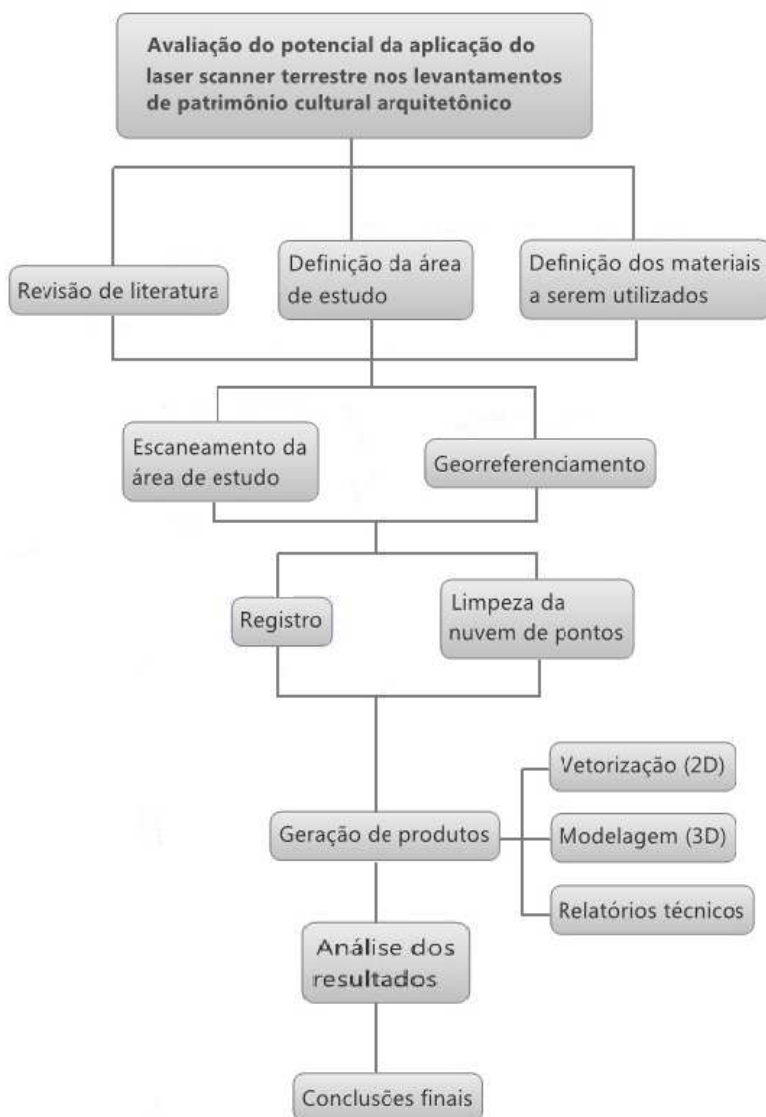
A casa-sede é térrea e tem tipologia luso-brasileira (Figura 26), tendo sido reformada em 1941 que, conforme o Inventário de Conhecimento do IPHAN (2008) teve algumas modificações visíveis.

A Fazenda Cajuru foi tombada como patrimônio estadual em 2005 (Lei Estadual nº5.846, de 1980) e o IPHAN tem seu patrimônio federal sugerido (IPHAN, 2008).

3.3 MÉTODO

Parte do método utilizado já fora descrito anteriormente, como o objetivo, a revisão de literatura, a área de estudo escolhida e a definição dos materiais. Entretanto, daí em diante é que se começa o trabalho do escaneamento a *laser* propriamente dito (Figura 27), como será explicado adiante.

FIGURA 27: ORGANOGRAMA SOBRE AS ETAPAS DO TRABALHO EXECUTADO



Fonte: acervo da autora

3.3.1 Escaneamento da área de estudo – levantamento a campo

No dia 28 de agosto de 2010, durante aproximadamente 9 horas, foram realizadas as varreduras a *laser* na sede da Fazenda Cajuru, numa área abrangendo a casa-sede, o galpão e as principais mangueiras ao redor destas duas edificações principais, com área de quase um hectare e perímetro de quinhentos metros.

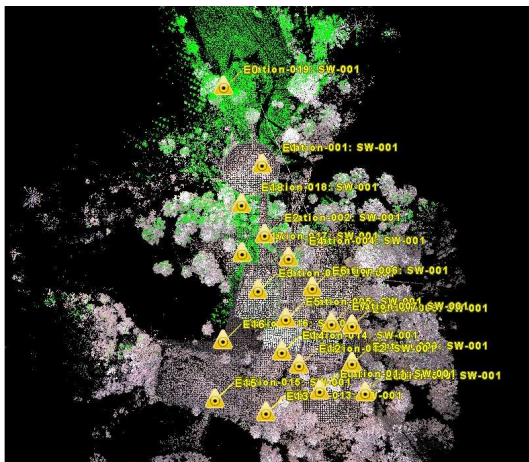
Ao todo, foram necessárias 19 (dezenove) estações (Figura 28), todas formando uma poligonal fechada, sendo que nas primeiras 16 (dezesesseis) foram obtidas, além da nuvem de pontos, fotografias tiradas com a câmera fotográfica do *laser scanner* terrestre, com as quais é possível que se tenha a nuvem de pontos com as cores reais. As outras 03 (três) estações realizaram apenas a varredura a *laser*, sem a obtenção das fotografias, uma vez que já era noite (Figuras 29 e 30).

FIGURA 28: AS 19 ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA ÁREA LEVANTADA



Fonte: *Software Leica Cyclone e Google Earth* (data da imagem: 26/05/2007; datada montagem: 30/08/2010), adaptado pela autora

FIGURA 29: NUVEM DE PONTOS EM CORES REAIS. ONDE ESTÁ VERDE NÃO FORAM OBTIDAS AS IMAGENS PARA A COLORAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS



Fonte: Software Leica Cyclone

É possível analisar na Figura 29, quais os pontos obtidos no período noturno: como não foram obtidas fotos para a coloração da nuvem de pontos, os pontos levantados à noite são aqueles representados na cor verde.

FIGURA 30: VARREDURA A *LASER* EM PERÍODO NOTURNO



Fonte: João Luiz Severo Martins, bolsista do GeoLab/ FAED/ UDESC

3.3.2 Pós-processamento *laser scanner*

Pode-se dizer que o pós-processamento dos dados obtidos com o *laser scanner* começa pela unificação da tomadas, o registro. No caso do trabalho em questão, este registro foi realizado pela poligonal fechada, indicando, no *módulo* de registro do *software* de pós-processamento dos dados do *laser scanner* terrestre, a ordem das estações com suas respectivas leituras de ré e vante.

TABELA 3: QUANTIDADE DE PONTOS, COLUNAS X LINHAS DE CADA ESTAÇÃO; EXTENSÃO DAS FOTOS OBTIDAS PELO *LASER SCANNER* E TAMANHO DO ARQUIVO DE CADA ESTAÇÃO

ESTAÇÃO	QTDDE PONTOS	COLUNAS	LINHAS	FORMATO FOTOS	TAMANHO ARQUIVO
001	6.609.047	6.283	2.357	.raw	1,16GB
002	10.573.997	6.283	2.357	.raw	1,16GB
003	6.242.796	6.283	2.357	.raw	1,16GB
004	10.557.732	6.283	2.357	.raw	1,16GB
005	6.498.244	6.283	2.357	.raw	1,16GB
006	6.458.457	6.283	2.357	.raw	1,16GB
007	7.347.549	6.283	2.357	.raw	1,16GB
008	7.231.146	6.283	2.357	.jpg	468MB
009	10.610.059	6.283	2.357	.jpg	470MB
010	4.524.762	3.321	2.357	.jpg	302MB
011	7.158.142	6.283	1.833	.jpg	414MB
012	6.245.819	6.283	1.571	.jpg	357MB
013	7.545.261	6.283	1.571	.jpg	404MB
014	6.284.232	6.283	1.571	.jpg	342MB
015	1.513.989	3.142	786	.jpg	228MB
016	1.081.031	2.264	655	.jpg	164MB
017	908.077	1.743	655	-	22,9MB
018	1.952.023	3.142	786	-	48,2MB
019	1.900.840	3.142	786	-	48,2MB

Fonte: dados extraídos das nuvens de pontos no *software Cyclone 7.0*, adaptado pela autora.

Em cada estação, é possível a visualização da quantidade de pontos, o número de colunas e de linhas, sendo que as colunas estão para o campo de visão horizontal assim como as linhas estão para o campo de visão vertical. Por exemplo, num escaneamento cujo campo de visão horizontal é de 360° e o vertical de -45° até 90°, tem-se 6.283 colunas e 2.357

linhas, como foram as 9 primeiras estações do levantamento da sede da Fazenda Cajuru (Tabela 3).

Na Tabela 3 também está expresso o formato do arquivo em que foram geradas as fotos obtidas pelo *laser scanner* terrestre e o tamanho do arquivo de cada estação antes do registro.

O arquivo bruto ficou com 11,3GB e o projeto na base de dados com 15,1GB. Após a unificação, o arquivo diminuiu para 1,5GB. A quantidade total de pontos da nuvem de pontos unificada é de 111.184.665.

Este registro durou em torno de 2 horas para sua conclusão.

3.3.3 Georreferenciamento

Com o GNSS *Leica VIVA* descrito anteriormente, foram georreferenciados os dois pontos de onde se iniciaram as varreduras com o *laser scanner*, o E1 (Figura 31) e o E0 (onde foi visada a ré com o *laser scanner*).

FIGURA 31: PAR RECEPTOR GNSS RASTREANDO O PONTO E1



Fonte: GeoLab/ FAED/ UDESC

Os pontos foram, assim como a varredura a *laser*, registrados no dia 28 de agosto de 2010, na fazenda Cajuru, em Lages.

Para o pós-processamento utilizou-se a base SCLA (de Lages) e o sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 22 SUL.

As coordenadas calculadas através do *software Leica Geo Office 5.0* destes dois pontos encontram-se na tabela abaixo:

TABELA 4: COORDENADAS CALCULADAS DOS PONTOS DAS ESTAÇÕES E1 E E0

	COORDENADA E1 (m)	COORDENADA E0 (m)
E	568.988,5770	568.968,9913
N	6.907.860,6676	6.907.899,7287
H	1.055,259	1.059,134

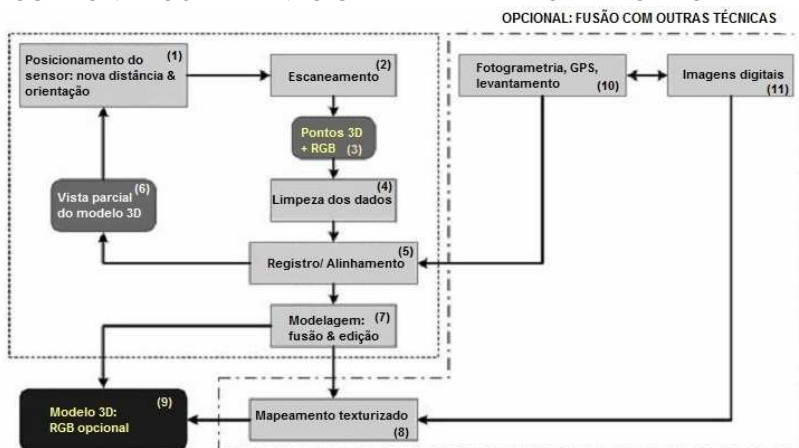
Fonte: relatório criado pelo *Leica Geo Office 5.0*, adaptado pela autora.

A partir destas duas coordenadas inseridas na poligonal fechada realizada com o *laser scanner Leica ScanStation C10*, todos os pontos da nuvem de pontos gerada passam a ser georreferenciados também.

3.3.4 Geração de produtos

Assim como mostrado na Figura 32 abaixo, a nuvem de pontos por si só nem sempre é considerada como um produto final e, para a produção de produtos finais (a serem entregues aos clientes) de escaneamentos a *laser*, nem sempre são utilizados apenas os dados gerados pelo próprio escaneamento.

FIGURA 32: PROCEDIMENTO GERAL PARA A MODELAGEM 3D



Fonte: adaptado pela autora de Beraldin, 2005.

Para o georreferenciamento das nuvens de pontos, é necessária a utilização de métodos da topografia convencional, como a utilização de GNSS e/ou estação total (Figura 32, item 1). Havendo os pontos georreferenciados para o posicionamento do *laser scanner* terrestre, o escaneamento é realizado (Figura 32, item 2), gerando uma nuvem de pontos também georreferenciada (Figura 32, item 3).

Na varredura, o *laser scanner* escaneia tudo o que “ele vê”, normalmente escaneando também alguns objetos, algumas pessoas/ carros passando, que não interessam ao serviço. Por isso, é necessária a limpeza dos dados (Figura 32, item 4), onde se exclui da nuvem de pontos estes dados considerados resíduos na nuvem de pontos a ser trabalhada.

Com todas as nuvens de pontos “limpas”, realiza-se o registro (alinhamento das tomadas) – (Figura 32, item 5). Aí se vê se a limpeza foi coerente, se o alinhamento está correto, gerando a nuvem de pontos da cena como um todo (Figura 32, item 6). Caso esteja tudo correto, passa-se para a modelagem tridimensional (Figura 32, item 7).

A fotogrametria é outra técnica também utilizada juntamente com o escaneamento a *laser* para a obtenção de detalhes não passíveis de se levantar com uma ou outra técnica por si só (Figura 32, item 10).

As imagens digitais (Figura 32, item 11), além de já serem capturadas pelo próprio *laser scanner* terrestre, como no caso do *laser scanner* terrestre utilizado, para a coloração da nuvem de pontos com as cores reais, são também de extrema importância para a renderização da modelagem tridimensional da nuvem de pontos. Como as imagens obtidas pelo *laser scanner* terrestre são “fragmentadas” na nuvem de pontos, a nuvem de pontos colorida não serve como base de texturização do modelo tridimensional, sendo necessário para tanto a utilização de imagens digitais, podendo, entretanto, ser as próprias fotos capturadas pelo *laser scanner* terrestre, porém em seu formato original (Figura 32, item 8).

Aliando todos os itens da Figura 32, ou mesmo não texturizando o modelo, tem-se um modelo tridimensional do objeto escaneado (Figura 32, item 9).

3.3.4.1 Modelagem (3d)

A modelagem tridimensional de patrimônio cultural arquitetônico é possível a partir da nuvem de pontos gerada pelo escaneamento a *laser*. No caso em estudo, foram exportadas as fachadas em nuvem de pontos em formato .PTS para o *Autodesk 3ds Max 2011* através do *plugin 3ds*

Max Point Cloud Tools – Project Helix Technology Preview, conforme descrito no item 3.1.6.

Aqui, para fins de exemplar a modelagem 3D, a casa-sede da fazenda foi modelada como se estivesse inteira restaurada (Figuras 33.1, 33.2, 33.3 e 33.4):

FIGURAS 33: 33.1- VISTA NORDESTE DA CASA-SEDE DA FAZENDA CAJURU; 33.2: VISTA NOROESTE; 33.3- VISTA SUDESTE E 33.4- VISTA SUDOESTE

33.1.



33.2



33.3.



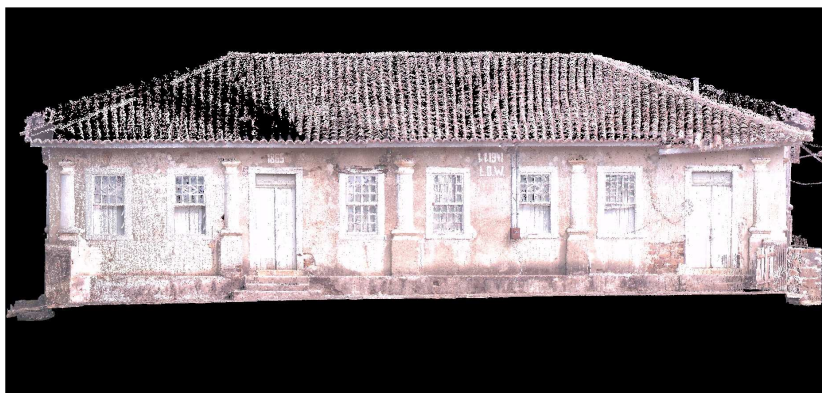


33.4.

Fonte: acervo da autora

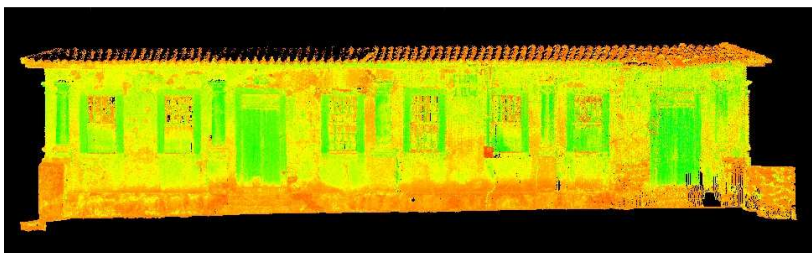
Seria possível ainda, fazer a modelagem tridimensional de como está a casa hoje em dia, com todos os seus defeitos (áreas sem reboco; áreas com infiltração, etc.), porém este processo seria mais demorado na modelagem em si. Entretanto, é importante deixar salientado que a nuvem de pontos permite a identificação destes pontos, seja pela precisão alcançada, seja pelo valor da intensidade de retorno, que ajuda a identificar a diferença dos materiais e/ou das condições, conforme Figuras 34 e 35.

FIGURA 34: NUVEM DE PONTOS DA FACHADA FRONTAL DA CASA-SEDE, COM CORES REAIS, ONDE SE PODE VER ONDE ESTÁ FALTANDO O REBOCO, ONDE O TELHADO ESTÁ CAÍDO, ONDE HÁ MANCHAS DE PROVÁVEL INFILTRAÇÃO



Fonte: acervo da autora.

FIGURA 35: NUVEM DE PONTOS DA FACHADA FRONTAL DA CASA-SEDE, COM NÍVEIS DE INTENSIDADE, QUE AUXILIA NA DIFERENCIAÇÃO DE MATERIAIS E CONDIÇÕES



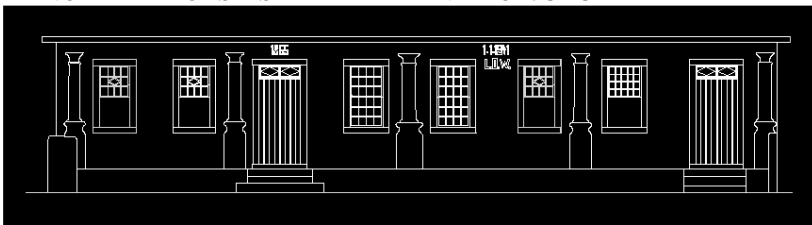
Fonte: acervo da autora.

Os diferentes níveis de reflectância dos materiais-alvo geram uma nuvem de pontos com diferentes níveis de intensidade e a interpretação mostra que há diferença de materiais (por exemplo, na Figura 35, o verde: madeira; amarelo: alvenaria) ou de condições (ainda na Figura 35: amarelo: alvenaria seca; laranja: alvenaria úmida e/ ou sem reboco).

3.3.4.2 Vetorização (2d)

Para uma fácil extração da vetorização bidimensional, é necessária a modelagem não renderizada como base para esta extração através do *software Leica Cyclone*. Assim, há uma ferramenta específica para esta função que, caso a modelagem esteja bem detalhada, deixará a vetorização bem detalhada também (Figura 36).

FIGURA 36: VETORIZAÇÃO BIDIMENSIONAL DA FACHADA PRINCIPAL DA CASA-SEDE DA FAZENDA CAJURU



Fonte: *Cloudworx*, feito pela autora.

Há, além da possibilidade supracitada, a opção de se vetorizar manualmente a nuvem de pontos, porém esta alternativa é extremamente

morosa, cansativa e desnecessária a não ser para pequenas correções em cima da extração automática realizada pelo *software*.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS E ANÁLISES

As resoluções utilizadas em cada estação durante o escaneamento a *laser* da sede da Fazenda Cajuru encontram-se na Tabela 5 abaixo.

TABELA 5: RESOLUÇÕES UTILIZADAS NO ESCANEAMENTO A *LASER* DA SEDE DA FAZENDA CAJURU

	RESOLUÇÃO	DISTÂNCIA	ESTAÇÕES
BAIXA	0.20m	100m	E17 a E19
MÉDIA	0.10m	100m	E1 a E16
ALTA	0.02m	100m	E7

Fonte: *Software Leica Cyclone*, adaptado pela autora.

Isto significa que, a uma distância de 100 metros do *laser scanner* terrestre, em frente à porta de entrada principal na fachada norte, a resolução atingida seria de 2 cm, caso esta tivesse sido a distância utilizada entre o *laser scanner* e o alvo. Como a distância foi menor, a resolução, foi maior. A resolução baixa foi utilizada nas estações em que o escaneamento foi realizado no período noturno, sendo de 20cm a 100m e a resolução de 10cm a 100m foi utilizada nas demais estações.

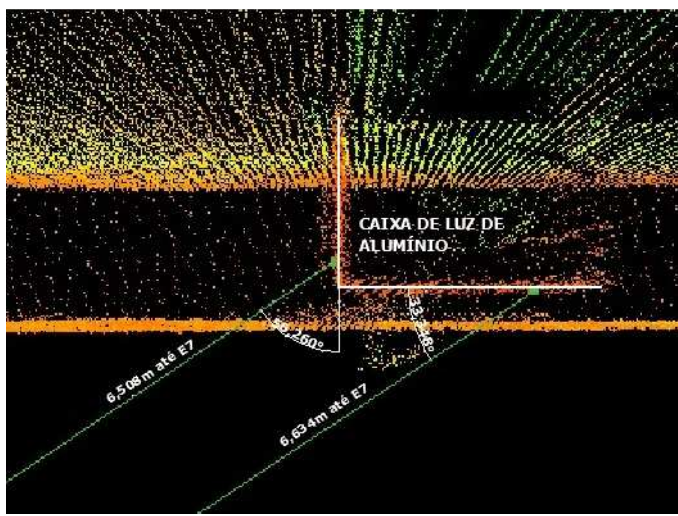
Uma das análises realizadas foi a respeito do sinal de intensidade em relação à distância do ponto medido até a estação de onde este ponto foi obtido e ao seu ângulo horizontal de incidência.

Como exemplos, foram tomados dois materiais bem distintos entre si: a caixa de luz, metálica, de cor escura, encontrada na fachada norte (fachada principal) da casa-sede e a porta de entrada, de madeira, pintada em tom claro.

Dos nove pontos observados na caixa de luz (Figura 37), tem-se o menor sinal de intensidade (em **negrito** na Tabela 6) obtido no ponto que se encontrava mais perto da estação de obtenção do mesmo (menor distância também em **negrito** na Tabela 6).

O maior índice de intensidade (em *italico* na tabela 6) foi em um ponto que apesar de estar distante da estação em 18.606m, foi obtido com o maior ângulo de incidência da tabela também (em *italico*).

FIGURA 37: DOIS ÂNGULOS INCIDENTES SOBRE A CAIXA DE LUZ



Fonte: *Cloudworx*, adaptado pela autora.

TABELA 6: TABELA COMPARATIVA ENTRE DISTÂNCIA, ÂNGULO DE INCIDÊNCIA E INTENSIDADE DE ALGUNS PONTOS NA CAIXA DE LUZ, NA FACHADA FRONTAL DA CASA-SEDE

DISTÂNCIA DA ESTAÇÃO (m)	ÂNGULO HORIZONTAL DE INCIDÊNCIA	INTENSIDADE
6.508	56.260°	0.1468
6.509	33.985°	0.1564
6.541	32.741°	0.1540
6.602	33.972°	0.1544
6.634	33.348°	0.1672
16.485	12.349°	0.1660
16.549	13.327°	0.1584
18.606	80.812°	0.2076
21.822	71.408°	0.1708

Fonte: *Cloudworx*, adaptado pela autora.

Muitos dos pontos que se encontram a uma distância parecida entre si da estação (entre 6.509 e 6.602m), tiveram ângulos de incidência com valores muito próximos (entre 32,741° e 33,972°), assim como seus respectivos sinais de intensidade (entre 0,1540 e 0,1672).

Sendo assim, notou-se que para um melhor retorno do sinal é melhor que o ângulo incidente seja o mais próximo da perpendicular do que o objeto esteja mais próximo da estação.

TABELA 7: TABELA COMPARATIVA ENTRE DISTÂNCIA, ÂNGULO DE INCIDÊNCIA E INTENSIDADE DE ALGUNS PONTOS NA PORTA DE ENTRADA, NA FACHADA FRONTAL DA CASA-SEDE

DISTÂNCIA DA ESTAÇÃO (m)	ÂNGULO HORIZONTAL DE INCIDÊNCIA	INTENSIDADE
3.965	82.909°	0.4400
3.974	81.272°	0.4650
3.989	80.543°	0.4360
4.008	79.262°	0.4860
4.022	77.839°	0.4540
4.090	74.126°	<i>0.5180</i>
4.108	74.009°	0.4420
4.170	69.049°	0.4150
4.170	72.741°	0.4540
<i>4.178</i>	71.767°	0.4330

Fonte: *Cloudworx*, adaptado pela autora.

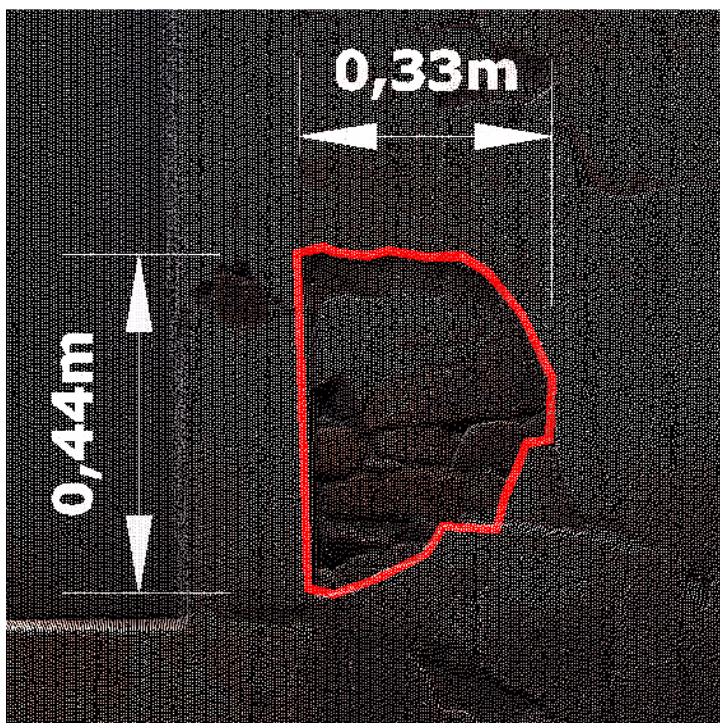
Já na porta de entrada, não foi exatamente o mesmo que ocorreu (Tabela 7). O maior ângulo de incidência (em *italico*), correspondeu ao ponto que estava mais próximo da estação (3,965m, em **negrito**), porém alcançou uma intensidade média em relação aos outros pontos no mesmo objeto (0,4400). Entretanto, em relação aos menores valores, a relação foi a mesma que a da caixa de luz: quanto menor o ângulo de incidência, menor o valor da intensidade (ambos em **negrito**). Acredita-se que o ocorrido com os valores máximos se deu em virtude de todos os ângulos de incidência ser bem mais elevados do que os da tabela anterior, da caixa de luz.

Outro fato constatado é que a partir do momento em que se consiga ter todo um levantamento cadastral georreferenciado no qual se possam

obter informações espaciais a qualquer instante, este passa a ser um produto por si só.

Se a finalidade do levantamento com o *laser scanner* é apenas para se ter uma base de referência para uma possível restauração, é possível retirar da nuvem de pontos todas as informações necessárias sem a necessidade de modelagem destes itens.

FIGURA 38: PATOLOGIA IDENTIFICADA NA NUVEM DE PONTOS



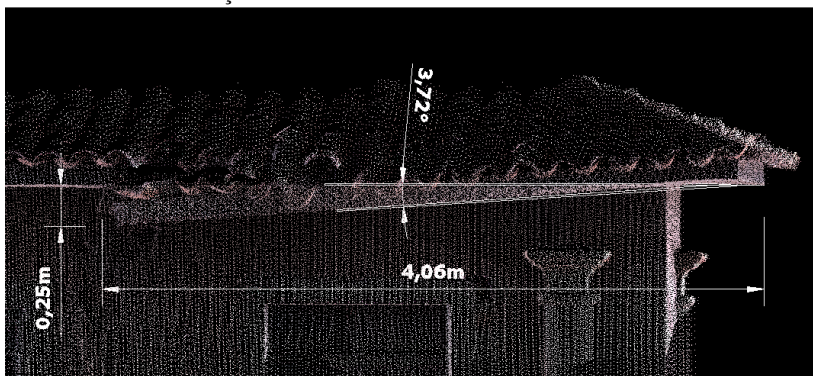
Fonte: *Software Cloudworx*, feito pela autora.

Tem-se, por exemplo, as Figuras 38 e 39, que mostram informações sobre o estado atual da casa-sede da Fazenda Cajuru, mas que não foram modeladas tridimensionalmente.

Na Figura 38, tem-se uma área ao lado da porta principal de entrada em que o reboco está ausente, inclusive aparecendo os tijolos maciços.

Através da nuvem de pontos, é possível a identificação desta patologia e a verificação de sua extensão, que é de $0,1135\text{m}^2$.

FIGURA 39: SITUAÇÃO DE PARTE DO BEIRAL DA FACHADA NORTE



Fonte: *Software CloudWorx*, feito pela autora.

No caso da Figura 39, é possível a identificação da situação de parte do beiral da fachada norte que está se ruindo, sendo que mais de 4 metros lineares do beiral já caíram $3,72^\circ$ (25 cm) em relação à sua posição original.

Estas informações já são úteis apenas a partir da nuvem de pontos, sendo que não foi necessária a modelagem para que se pudesse obter o necessário.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

A aplicação do *laser scanner* terrestre nos levantamentos de patrimônio cultural arquitetônico não só é possível como é a que obtém o melhor nível de detalhamento num menor espaço de tempo, mesmo que para um melhor resultado se recomende que o escaneamento seja realizado com precisão alta, a fim de se obter mais clareza de detalhes.

Com qualquer outra técnica não seria possível o levantamento completo da sede da Fazenda Cajuru (cerca de 1ha.) em apenas 1 dia de levantamento de campo, até mesmo porque outras técnicas dependeriam que o serviço terminasse durante o período diurno, enquanto a varredura a *laser* pôde ser concluída já no período noturno, assim como foi mostrado no item 2.6.1.

O levantamento direto realizado por Teixeira (2004) na Fazenda Cajuru, no qual obteve as elevações, plantas-baixas, paginação de pisos e forros, detalhamentos de esquadrias, estrutura de cobertura, ornamentos etc., sem referenciamento algum, foi realizado em torno de 9 dias com 3 pessoas trabalhando em torno de 8 horas por dia, sempre no período diurno. Utilizou-se de trenas, teodolito para fazer o levantamento planimétrico das mangueiras e perímetro dos galpões e da sede, máquina fotográfica, bússola, escadas, varões para esticar a trena em lugares altos, lanternas e luvas para proteção, uma vez que tinham que mexer em locais que podiam abrigar animais peçonhentos.

É importante comparar que o uso do *laser scanner* terrestre não coloca as pessoas em perigo por subir em lugares altos nem os expõe ao contato direto com locais que possam ser abrigo de animais peçonhentos. Além disso, há a consideração que o levantamento realizado em apenas 1 dia contemplou não apenas as edificações (externamente) e mangueiras, mas todo o entorno, mantendo a casa-sede registrada dentro de seu contexto (relevo, vegetação, etc.).

A modelagem tridimensional do objeto é capaz de ser extraída da nuvem de pontos, sendo que apenas sua texturização ainda depende de imagens digitais. Quanto à vetorização bidimensional, esta também é possível, porém acredita-se que ela só seja ainda utilizada como forma de arquivamento e para facilitação do entendimento aos usuários que não estejam ainda familiarizados com o sistema tridimensional, uma vez que em 3D têm-se todas as informações passíveis de serem bidimensio-

nadas, além de se ter a possibilidade de visualização mais completa e de melhor interpretação.

Apesar de alguns acreditarem que a nuvem de pontos (Figura 40) não seja um produto final por si só, ela, de certa forma, não deixa de sê-lo. Este caso pode ser bem exemplificado no caso do levantamento cadastral das taipas da sede da Fazenda Cajuru (Figuras 40 e 41): foram todas cadastradas, foi possível a verificação de que se tem pouco mais de 663 metros lineares de taipas na área levantada (Figura 24), é possível a verificação da altura, largura, localização, tamanho de cada bloco; entretanto, não foi possível, através do *software* utilizado, a extração automática da vetorização 2D (elevações, por exemplo) das mesmas, uma vez que para isto teria que ser realizada a sua modelagem previamente, mas por se tratar de inúmeros blocos com formas orgânicas a modelagem tridimensional passa a ser trabalhosa.

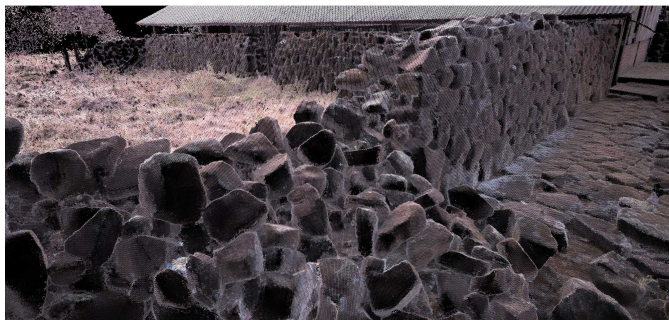
Assim como é possível estas avaliações sobre as taipas, pode-se fazê-lo com quaisquer feições das nuvens de pontos, como saber qual a catenária da fiação elétrica que chega a casa; a altura de uma árvore; o posicionamento georreferenciado das pedras postas no jardim de entrada, a área sem reboco de uma fachada, etc.

FIGURA 40: NUVEM DE PONTOS DE PARTE DE UMA TAIPA



Fonte: *Software Leica Cyclone*.

FIGURA 41: TAIPAS REPRESENTADAS COM EFEITO “*SILHOUETTE*” (ONDE AS BORDAS SÃO REFORÇADAS A PARTIR DA NUVEM DE PONTOS)



Fonte: *Software Leica Cyclone*.

A rápida aquisição de dados levantada pelo *laser scanner* terrestre, com o nível de detalhamento que é possível captar através dele, proporciona a criação de um banco de dados para pós-processamento multifuncional de sítios históricos e monumentos o que torna a utilização desta técnica de extrema importância para a catalogação do patrimônio cultural arquitetônico, assim como de bens móveis, o que viria a ser vital na documentação do patrimônio histórico brasileiro pelo IPHAN, que atualmente não conta com estas informações e não é capaz de fazer a distinção milimétrica entre uma obra original e a falsificada baseada em dados concretos; tampouco criar um banco de dados com todas as edificações tombadas/ protegidas georreferenciadas no país.

A título de sugestão para próximos estudos, indica-se um estudo matemático entre a resolução e a distância, uma vez que se tem apenas a indicação da resolução a 100 metros e esta projeção a outras distâncias não cumpre uma progressão geométrica. Um estudo sobre valores de reflectância dos materiais (intensidade) para o auxílio do melhor posicionamento do *laser scanner* terrestre em relação ao objeto alvo para a obtenção de melhores precisões.

CAPÍTULO 6

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREONI, Dario Conforti, PINTO, Livio. **Il Texture mapping del Battistero di Cremona ottenuto com riprese fotogrammetriche digitali e laser scanner terrestre**. 2004. Disponível em: <http://www.earcom.org/Atti2004/Conforti_Pinto.pdf>. Acesso em 28 de abril de 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação - Referências – Elaboração – NBR 6023**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Informação e documentação — Trabalhos Acadêmicos — Apresentação - NBR 14724 (3ª edição)**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 11 p.

AUTODESK. **Point Cloud for 3ds Max/ 3ds Max Design**. 2011. Disponível em: <http://labs.autodesk.com/utilities/3dsmax_pointcloud/overview/>. Acesso em: 28 de julho de 2011.

BARCIK, Evandra; et al. **Aplicação do Scanner Terrestre ILRIS – 3D no Ramo da Mineração**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIII, 2007, Florianópolis. Florianópolis: INPE, 2007, p. 3631-3635. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.16.34/doc/3631-3635.pdf>>. Acesso em 02 de maio de 2007.

BERALDIN, J.A.; et al. **Virtual Reconstruction of Heritage Sites: Opportunities and Challenges Created by 3D Technologies**. *The International Workshop on Recording, Modeling and Visualization of Cultural Heritage*. 22-27 de maio de 2005. Ascona, Switzerland. Disponível em: <<http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/npsi/ctrl?action=rt doc&an=5764473&lang=en>>. Acesso em: 05 de agosto de 2011.

BORRAZÁS, Patricia Mañana; et al. **La Documentación Geométrica de Elementos Patrimoniales com Láser Escáner Terrestre**. *La Expe-*

riencia del Lapa em Galicia. In: Cuadernos de Estudios Gallegos, LVI, N°122, janeiro-dezembro de 2009, p. 33-65. Disponível em: <<http://digital.csic.es/handle/10261/20449>>. Acesso em 05 de outubro de 2010.

CAMINHO DAS TROPAS. Série Memória e Patrimônio Cultural 1. FCC Edições. [1984?]

CENTENO, J. A. S.; et al.. **Comparação de Geração de Modelos Tri-dimensionais Usando Laser Scanner Terrestre e Restituição Fotogramétrica Monocular.** In: I Simpósio De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação - SIMGEO, 2004, Recife. Anais do I Simpósio De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação - SIMGEO. Recife, 2004. v. 1. Disponível em: <<http://people.ufpr.br/~centeno/publications/download/2004/f013.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2011.

_____. **Sensoriamento Remoto por LIDAR** (LIDAR Remote Sensing). Curso ministrado no XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, 2007. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2007/pdf/curso10/Centeno/centeno.pdf>>. Acesso em: 17 de janeiro de 2009.

DALMOLIN, Quintino; SANTOS, Daniel Rodrigues dos. **Sistema laserscanner:** conceitos e princípios de funcionamento (3ª edição). Curitiba: UFPR, 2004. 97p.

FRÖHLICH, C.; METTENLEITER, M. **Terrestrial Laser Scanning – New Perspectives in 3D Surveying.** International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI – 8/W2. Disponível em: <www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/FROEHLICH.pdf>. Acesso em: 11 de junho de 2008.

GAISECKER, T. **Pinchango Alto – 3D archaeology documentation using the hybrid 3D laser scan system of RIEGL.** RIEGL Laser Measurement Systems GmbH, Horn, Austria, 2006. Disponível em: <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/pinchango_alto.pdf>. Acesso em: 19 de julho de 2006.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO ARTÍSTICO NACIONAL. **Superintendência do Iphan em Santa Catarina**. Disponível em:

<<http://portal.iphan.gov.br/portal/montarDetalheConteudo.do?id=12745&sigla=Institucional&retorno=detalheInstitucional>>. Acesso em 10 de dezembro de 2010.

LEICA GEOSYSTEMS. HDS Software. **Cyclone, CloudWorx & TruView - A complete solution**. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/en/HDS-Software_3490.htm>. Acesso em: 28 de setembro de 2010.

_____. **Leica Viva GNSS GS15**. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-GS10-GS15_86596.htm>. Acesso em: 15 de outubro de 2011.

_____. **Leica ScanStation C10**. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-C10_79411.htm>. Acesso em: 28 de setembro de 2010.

_____. **Targets for the Leica ScanStation C10 and HDS6200**. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/en/Targets_19143.htm>. Acesso em 25 de outubro de 2011.

_____. **Leica TruView & Cyclone PUBLISHER**. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-TruView-Cyclone-PUBLISHER_64524.htm>. Acesso em 25 de outubro de 2011.

LIMA, José Gaspar dos Santos. **Utilização de Tecnologia de Varredura à Laser para Obtenção e Identificação de Dados Patológicos de Obras de Concreto de Grande Porte** – Estudo de Caso. 2008. 91p. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil). Núcleo de Ciências Exatas, Universidade Positivo, Curitiba, 2008.

MEASUREMENT DEVICES LIMITED (MDL). **DYNASCAN BROCHURE**. 2008. Encontrado em: <<http://www.mdl-laser.com/en/dynascan--14739>>. Acessado em 17 de novembro de 2011.

OPTECH. **Applications and software for ILRIS-3D**. Toronto, Canada, 2003. Disponível em: <

http://www.optech.ca/pdf/Brochures/ilris3d_software_applications.pdf>. Acesso em 15 de fevereiro de 2010.

SANTOS, Fabiano Teixeira dos. **Fazenda serrana: arquitetura pastoril nos Campos de Lages e Cima da Serra, séculos 18 e 19**. In: Peões, gaúchos, vaqueiros, cativos campeiros: estudos sobre a economia pastoril do Brasil. Mário Maestri (org.). Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2009. p. 147-180.

TEIXEIRA, L.E.F. **Levantamento nas sedes de fazendas na Coxilha Rica, Lages – SC**. In VARELA, I.A. Et all. Relatório de Pesquisa: Caminho das Tropas. Uniplac/Funcitec/Pref. Mun. de Lages. 2004.

TERRESTRIAL LASER SCANNERS. GIM International. [S.l.: s.n.], august, 2007. Disponível em: <http://www.gim-international.com/files/productsurvey_v_pdfdocument_18.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2009.

_____. GIM International. [S.l.: s.n.], august, 2009. Disponível em: <http://www.gim-international.com/productsurvey/id34-Terrestrial_Laser_Scanners,_August.html>. Acesso em: 06 de janeiro de 2010.

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. **Um Estudo sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3d a curta Distância**. UNESP, Presidente Prudente. Abril de 2003.

VOEGTLE, T.; WAKALUK, S. **Effects on the Measurements of the Terrestrial Laser Scanner HDS 6000 (Leica) Caused by Different Object Materials**. Laserscanning09, IAPRS, Volume XXXVIII, Paris, France, p.68-75 (2009). Disponível em <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/3-W8/papers/p80.pdf>>. Acesso em: 28 de setembro de 2011.

WUTKE, Juliana Dias. **Métodos para a Avaliação de um Sistema Laser Scanner Terrestre**. Dissertação na Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR. Curitiba, 2006

3D LASER SCANNING FOR HERITAGE: ADVICE AND GUIDANCE TO USERS ON LASER SCANNING IN ARCHAEOLOGY AND ARCHITECTURE. English Heritage, 2007.

Disponível em: <<http://www.helm.org.uk/upload/pdf/publishing-3d-laser-scanning-reprint.pdf?1319048124>>. Acesso em: 17 de outubro de 2011.

ANEXOS EM CD